



**POLA DISTRIBUSI RESISTIVITAS BAWAH PERMUKAAN  
SITUS MEGALITIKUM DENGAN METODE GEOLISTRIK  
*RES3D* DI KECAMATAN GRUJUGAN  
KABUPATEN BONDOWOSO**

**SKRIPSI**

Oleh

**Uci Karisma  
NIM 071810201027**

**JURUSAN FISIKA  
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM  
UNIVERSITAS JEMBER  
2013**



**POLA DISTRIBUSI RESISTIVITAS BAWAH PERMUKAAN  
SITUS MEGALITIKUM DENGAN METODE GEOLISTRIK  
*RES3D* DI KECAMATAN GRUJUGAN  
KABUPATEN BONDOWOSO**

**SKRIPSI**

diajukan guna melengkapi tugas akhir dan memenuhi salah satu syarat  
untuk menyelesaikan Program Studi Fisika (S1)  
dan mencapai gelar Sarjana Sains

oleh

**Uci Karisma  
NIM 071810201027**

**JURUSAN FISIKA  
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM  
UNIVERSITAS JEMBER  
2013**

# **SKRIPSI**

## **POLA DISTRIBUSI RESISTIVITAS BAWAH PERMUKAAN SITUS MEGALITIKUM DENGAN METODE GEOLISTRIK *RES3D* DI KECAMATAN GRUJUGAN KABUPATEN BONDOWOSO**

Oleh

Uci Karisma  
NIM 071810201027

Pembimbing:

Dosen Pembimbing Utama : Puguh Hiskiawan, S.Si., M.Si.

Dosen Pembimbing Anggota : Nurul Priyantari, S.Si., M.Si.

## MOTTO

“Bacalah dengan (menyebut) nama Tuhan-mu yang menciptakan, Dia telah menciptakan manusia dari segumpal darah. Bacalah, dan Tuhan-mulah yang Maha Pemurah. Yang mengajar (manusia) dengan perantara kalam. Dia mengajarkan kepada manusia apa yang tidak diketahuinya”

(terjemahan Q.S Al-Alaq: 1-5)<sup>1)</sup>

“Cobalah tidak untuk menjadi seseorang yang sukses,  
tetapi menjadi seseorang yang bernilai”

(Terjemahan Albert Einstein)<sup>2)</sup>

---

<sup>1)</sup> Departemen Agama Republik Indonesia. 2005. *Al-Qur'an dan Terjemahannya Al-Jumanatul Ali*. Bandung: CV. Penerbit J-ART.

<sup>2)</sup> Setiawan, I. 2010. *Saripati Kata – kata Bijak Kata Motivasi Para Pemikir Top Inspirasional Dunia*. Yogyakarta: Diva press.

## **PERSEMBAHAN**

Alhamdulillah, skripsi ini saya persembahkan dengan penuh rasa cinta, syukur dan terimakasih yang sebesar-besarnya untuk:

1. Ayahanda tercinta H. Suwarno serta Ibunda tercinta Hj. Isrotin, yang selalu memberikan doa dan restunya kepada Ananda dengan segenap cinta kasih, rasa sayang dan sejuta kesabaran serta pengorbanan dalam mendidik Ananda selama ini;
2. Adik Kurniawan Hidayat dan Sajjidah Khoirallah Tuhfa yang selalu memberikan doa dan motivasinya;
3. Para Guru yang pernah mendidikku sejak kecil hingga saat ini, terimakasih banyak atas semua ilmu yang telah kau berikan;
4. seluruh keluarga besar di Banyuwangi yang telah memberikan dukungan, motivasi dan nasehat yang sangat berguna bagi Ananda;
5. teman-teman seperjuangan angkatan 2007 yang telah memberikan keceriaan, dorongan serta doa selama ini;
6. Almamater Jurusan Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Jember.

## PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Uci Karisma

NIM : 071810201027

menyatakan dengan sesungguhnya bahwa karya ilmiah yang berjudul: “Pola Distribusi Resistivitas Bawah Permukaan Situs Megalitikum Dengan Metode Geolistrik *Res3D* Di Kecamatan Grugugan Kabupaten Bondowoso” adalah benar-benar hasil karya sendiri, kecuali jika dalam pengutipan substansi disebutkan sumbernya, dan belum pernah diajukan pada institusi manapun, serta bukan karya jiplakan. Saya bertanggung jawab keabsahan dan kebenaran isinya sesuai dengan sikap ilmiah yang harus dijunjung tinggi.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya, tanpa adanya tekanan dan paksaan dari pihak manapun serta bersedia mendapat sanksi akademik jika ternyata dikemudian hari pernyataan ini tidak benar.

Jember, 10 Januari 2013

Yang menyatakan,

Uci Karisma  
NIM 071810201027

## PENGESAHAN

Skripsi berjudul “*Pola Distribusi Resistivitas Bawah Permukaan Situs Megalitikum dengan Metode Geolistrik Res3D di Kecamatan Grujugan Kabupaten Bondowoso*” telah diuji dan disahkan pada :

hari :

tanggal :

tempat : Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Jember

### Tim Penguji

Ketua

Sekretaris

Puguh Hiskiawan, S.Si., M.Si.

Nurul Priyantari, S.Si., M.Si.

NIP 19741215 200212 1 001

NIP 19700327 199702 2 001

Anggota I

Anggota II

Drs. Yuda Cahyoargo Hariadi, M.Sc., Ph.D.

Endhah Purwandari, S.Si., M.Si.

NIP 19620311 198702 1 001

NIP 19811111 200501 2 001

Mengesahkan

Dekan,

Prof. Drs. Kusno, DEA., Ph.D.

NIP 19610108 198602 1 001

## RINGKASAN

**Pola Distribusi Bawah Permukaan Situs Megalitikum Dengan Metode Geolistrik *Res3D* di Kecamatan Grujagan Kabupaten Bondowoso;** Uci Karisma, 071810201027; 2013: 71 halaman; Jurusan Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Jember.

Situs megalitikum merupakan bentuk peninggalan zaman prasejarah yang berupa bangunan dari batu-batu besar dan banyak ditemukan di berbagai pulau di Indonesia. Dari beberapa penelitian selama ini, diketahui bahwa peninggalan yang terdapat di wilayah Bondowoso sangat padat sebarannya dan variasi hasil budayanya paling banyak. Salah satu peninggalan situs megalitikum di Kabupaten Bondowoso terdapat di Desa Pakauman yang memiliki  $\pm$  640 benda-benda bersejarah dari kebudayaan megalitikum, seperti dolmen, menhir, sarkofagus dan kubur batu. Selain itu ada juga macam-macam kebudayaan batu yang lain seperti batu kenong, pelinggih, gua buto, ekopak, dan arca batu. Komplek situs umumnya tersusun atas batuan andesit, dengan ukuran elemen-elemennya bervariasi bergantung dari fungsi elemen tersebut. Nilai resistivitas pada batuan andesit adalah  $4,5 \times 10^4 \Omega\text{m}$  (basah) –  $1,7 \times 10^2 \Omega\text{m}$  (kering). Keberadaan batuan andesit tersebut dapat diketahui dengan memanfaatkan sifat kelistrikan batuan. Tujuan penelitian untuk mengetahui letak keberadaan dan kedalaman batuan megalitikum pada situs purbakala secara vertikal maupun horisontal dengan menggunakan metode geolistrik resistivitas 3D.

Metode ini dilakukan dengan menginjeksikan arus listrik ke dalam permukaan bumi, dengan menggunakan 4 buah elektroda, dengan rincian 2 buah elektroda arus digunakan untuk menginjeksikan arus listrik ke dalam permukaan bumi dan 2 buah elektroda potensial digunakan untuk mengukur beda potensial yang dihasilkan. Penyelidikan dengan menggunakan metode geolistrik resistivitas 3D jarang digunakan karena survei ini membutuhkan waktu yang lama dan mempunyai tingkat kesulitan yang lebih tinggi dalam proses akuisisi dibandingkan dengan survei



resistivitas secara 2D. Namun secara teknik metode 3D akan menghasilkan citra yang lebih resolutif dibanding dengan 2D karena teknik akuisisi datanya lebih rapat sehingga jumlah data yang diperoleh akan lebih banyak. Penggambaran distribusi resistivitas 3D mampu menampilkan citra penyebaran resistivitas secara vertikal dan horisontal. Data hasil penelitian berupa data resistansi, kemudian dikalikan dengan faktor geometri konfigurasi pole-pole sehingga diperoleh data berupa resistivitas bawah permukaan. Setelah diperoleh data resistivitas selanjutnya dilakukan inversi dengan menggunakan *software Res3Dinv* yang menghasilkan citra distribusi resistivitas dalam penampang horisontal dan vertikal.

Hasil penelitian ini secara umum menunjukkan bahwa nilai resistivitas tanah dan batuan pada lokasi penelitian berada pada rentang 5,7 sampai dengan 321  $\Omega$ m. Berdasarkan pencitraan baik pada penampang horisontal, penampang vertikal maupun dalam bentuk 3D (bentuk kubus), diperoleh informasi bahwa terdapat dugaan adanya batuan andesit dengan kedalaman berkisar antara 0,00 – 5,00 m dicitrakan oleh warna merah yang merupakan perwakilan dari hasil nilai resistivitas dengan rentang resistivitas berkisar antara 101–321  $\Omega$ m yang mengacu pada tabel Telford. Bagian yang terdapat di bawah permukaan tersebut diduga merupakan bagian dari batuan situs megalitikum yang muncul di permukaan. Berdasarkan hasil tersebut dapat diketahui bahwa aplikasi metode geolistrik resistivitas dengan pencitraan 3D mampu menginterpretasikan kondisi bawah permukaan secara 3D dengan hasil yang resolutif.

## PRAKATA

Dengan memanjatkan puji syukur kehadiran Allah SWT yang telah memberikan berkah dan rahmat-Nya serta tak lupa sholawat dan salam penulis haturkan kepada Rasulullah SAW, sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul “*Pola Distribusi Resistivitas Bawah Permukaan Situs Megalitikum dengan Metode Geolistrik Res3D di Kecamatan Grujungan Kabupaten Bondowoso*”.

Penyusunan skripsi ini disusun untuk melengkapi tugas akhir dan memenuhi salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Fisika Fakultas MIPA Universitas Jember. Penulisan skripsi ini tidak lepas dari bantuan semua pihak, baik berupa dorongan, nasehat, saran maupun kritik yang sangat membantu dalam penyelesaian skripsi ini. Penulis mengucapkan terima kasih kepada :

1. Puguh Hiskiawan, S.Si., M.Si, selaku Dosen Pembimbing Utama (DPU) dan Nurul Priyantari, S.Si., M.Si, selaku Dosen Pembimbing Anggota (DPA), yang telah meluangkan waktu, pikiran, dan tenaga dalam membantu dan membimbing penulis dari awal sampai terselesaikannya penulisan skripsi ini;
2. Drs. Yuda Cahyoargo Hariadi, M.Sc., Ph.D, selaku Dosen Penguji I dan Endhah Purwandari, S.Si., M.Si, selaku Dosen Penguji II atas segala masukan, kritik serta saran yang telah diberikan bagi kesempurnaan penulisan skripsi ini;
3. Dr. Edy Supriyanto, S.Si., M.Si, selaku ketua Jurusan Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Jember;
4. Mutmainnah, S.Si., M.Si., selaku Dosen Pembimbing Akademik yang telah membimbing selama perkuliahan;
5. seluruh staf pengajar Jurusan Fisika MIPA yang telah membimbing dan memberikan ilmunya selama di bangku Perguruan Tinggi;
6. seluruh staf dan karyawan FMIPA Universitas Jember yang telah membantu dalam hal administrasi maupun non-administrasi, yaitu Mas Budi, Mas Taufik,

Mas Narto, Mas Edy, Bapak Ji, Mas Hadi, Mas Anshori, Mbak Erni dan Mbak Khusnul;

7. Barika Novanta selaku Teknisi dari Universitas Brawijaya Malang yang telah membantu dalam penelitian ini;
8. semua teman – teman di *Geophysics Club* Fisika MIPA UNEJ Abd. Rohim, Andrio, Teguh, Khoiru, Haritsah, Serly, dan Agung terima kasih atas dukungan dan bantuannya selama ini;
9. teman seperjuangan Erisa, Fetty, Dian, Mimin, Diah, Lilis, Hidayah, Pupus, Setya, Kiki, Farida, Ratih, Kristin, Umi, Santi, Ratna dan Wardah yang telah memberikan bantuan dukungan untuk segera menyelesaikan skripsi;
10. semua teman – teman di Jurusan Fisika, khususnya angkatan 2007 yang telah memberikan doa dan dukungannya selama ini;
11. semua pihak yang telah banyak membantu, yang tidak dapat penulis sebutkan satu per satu.

Penulis sadar akan keterbatasan dan kurang sempurnanya penulisan skripsi ini, oleh karena itu segala saran dan kritik yang bersifat membangun akan sangat penulis harapkan. Semoga skripsi ini dapat bermanfaat dan memberikan tambahan pengetahuan bagi yang membacanya.

Jember, Januari 2013

Penulis

## DAFTAR ISI

	Halaman
<b>HALAMAN JUDUL</b> .....	i
<b>HALAMAN PEMBIMBINGAN</b> .....	ii
<b>HALAMAN MOTTO</b> .....	iii
<b>HALAMAN PERSEMBAHAN</b> .....	iv
<b>HALAMAN PERNYATAAN</b> .....	v
<b>HALAMAN PENGESAHAN</b> .....	vi
<b>RINGKASAN</b> .....	vii
<b>PRAKATA</b> .....	ix
<b>DAFTAR ISI</b> .....	xi
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	xiii
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	xiv
<b>DAFTAR LAMPIRAN</b> .....	xv
<b>BAB 1. PENDAHULUAN</b> .....	1
<b>1.1 Latar Belakang</b> .....	1
<b>1.2 Rumusan Masalah</b> .....	4
<b>1.3 Batasan Masalah</b> .....	4
<b>1.3 Tujuan Penelitian</b> .....	4
<b>1.4 Manfaat Penelitian</b> .....	4
<b>BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA</b> .....	5
<b>2.1 Situasi dan Kondisi Geologi Daerah Penelitian</b> .....	5
<b>2.2 Situs Batuan Megalitikum</b> .....	5
2.2.1 Pandhusa .....	6
2.2.2 Patung Menhir .....	7
2.2.3 Pelinggih Batu .....	8
2.2.4 Dolmen .....	8

2.2.5 Sarkofagus .....	9
2.2.6 Batu Kenong .....	10
<b>2.3 Batuan Beku .....</b>	<b>11</b>
<b>2.4 Resistivitas Batuan dan Mineral .....</b>	<b>13</b>
<b>2.5 Metode Geolistrik Resistivitas .....</b>	<b>15</b>
2.5.1 Titik Arus Tunggal di Permukaan.....	17
2.5.2 Dua Titik Arus di Permukaan.....	19
<b>2.6 Resistivitas Semu (<i>Apparent Resistivity</i>) .....</b>	<b>21</b>
<b>2.7 Survei Resistivitas 3D .....</b>	<b>21</b>
<b>2.8 Konfigurasi <i>Pole-Pole</i> .....</b>	<b>23</b>
<b>2.9 Software <i>Res3Dinv</i> .....</b>	<b>24</b>
<b>BAB 3. METODE PENELITIAN.....</b>	<b>26</b>
<b>3.1 Tempat dan Waktu Penelitian .....</b>	<b>26</b>
<b>3.2 Langkah-langkah Penelitian .....</b>	<b>27</b>
<b>3.3 Alat Penelitian .....</b>	<b>29</b>
<b>3.4 Prosedur Pengambilan Data.....</b>	<b>30</b>
3.4.1 Akuisisi Data Metode Geolistrik Resistivitas 3D Konfigurasi <i>Pole-Pole</i> .....	31
3.4.2 Pengolahan Data .....	33
<b>BAB 4. HASIL DAN PEMBAHASAN .....</b>	<b>35</b>
<b>4.1 Hasil .....</b>	<b>35</b>
4.1.1 Data Hasil Penelitian .....	35
4.1.2 Inversi Data Hasil Penelitian .....	35
<b>4.2 Pembahasan .....</b>	<b>41</b>
<b>BAB 5. PENUTUP .....</b>	<b>45</b>
<b>5.1 Kesimpulan .....</b>	<b>45</b>
<b>5.2 Saran .....</b>	<b>46</b>
<b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>	<b>47</b>
<b>LAMPIRAN .....</b>	<b>50</b>

## DAFTAR GAMBAR

	Halaman
2.1 Situs megalitikum .....	6
2.2 Sumber arus berupa titik pada permukaan bumi homogen .....	18
2.3 Dua titik sumber arus dua elektroda potensial di permukaan tanah .....	20
2.4 Pola aliran arus dan bidang <i>equipotential</i> antara dua elektroda arus dengan polaritas berlawanan .....	20
2.5 Gambar teknik pengambilan data metode geolistrik resistivitas 3D.....	22
2.6 Konfigurasi <i>Pole-Pole</i> .....	23
2.7 Metode blok 3D .....	24
3.1 Lokasi penelitian peta Pakauman.....	26
3.2 Lintasan pengukuran .....	27
3.3 Diagram kerja pelaksanaan penelitian.....	28
3.4 Alat penelitian.....	30
3.5 Disain pengukuran lintasan pengukuran resistivitas 3D .....	32
4.1 Penampang horisontal resistivitas bawah permukaan.....	36
4.2 Penampang vertikal (bidang x-z) bawah permukaan .....	37
4.3 Penampang vertikal (bidang y-z) bawah permukaan .....	38
4.4 Citra resistivitas bawah permukaan berbentuk kubus (3D) .....	40

## DAFTAR TABEL

	Halaman
2.1 Nilai resistivitas batuan dan mineral bumi .....	14

## DAFTAR LAMPIRAN

	Halaman
A. Urutan Pengambilan Data Resistivitas 3D .....	50
B. Tabel Data Perhitungan Resistivitas Semu Dari Survei Resistivitas 3D.....	51



## BAB 1. PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Indonesia memiliki penduduk terbesar di Asia Tenggara dengan beraneka ragam suku dan tradisi budaya. Zaman praaksara disebut juga dengan zaman prasejarah yaitu suatu zaman manusia belum mengenal tulisan. Benda-benda peninggalan zaman prasejarah dibagi menjadi dua zaman yaitu zaman logam dan zaman batu. Zaman logam adalah zaman sewaktu manusia sudah mampu membuat alat-alat perlengkapan hidupnya dari logam. Teknik pembuatan alat-alat dari logam ini dengan cara melebur bijih-bijih logam. Zaman batu adalah zaman ketika manusia mulai mengenal alat-alat yang terbuat dari batu. Zaman batu dibagi atas beberapa bagian diantaranya zaman batu tua *Palaeolitikum*, zaman batu menengah *Mesolitikum*, zaman batu muda *Neolitikum*, kemudian berkembang kesenian dari batu di zaman logam disebut zaman batu besar *Megalitikum* (Sumarti, 1981).

Megalitik berasal dari kata *mega* yang berarti besar, dan *lithos* yang berarti batu. Zaman megalitikum biasa disebut dengan zaman batu besar, karena pada zaman ini manusia sudah dapat membuat dan meningkatkan kebudayaan yang terbuat dari batu-batu besar (Sumarno, 1989). Mulyadi (1997) menyatakan bahwa kebudayaan megalitikum adalah kebudayaan yang terutama menghasilkan bangunan dari batu-batu besar. Batu-batu ini biasanya tidak dikerjakan secara halus, hanya diratakan secara kasar saja untuk mendapatkan bentuk yang diperlukan. Namun ada beberapa hal yang perlu diperhatikan tentang situs megalitikum, yaitu karena besar dan kecilnya batu itu relatif maka ada megalitik yang terbuat dari batu besar dan ada pula yang terbuat dari batu kecil, misalnya; dolmen, menhir, sarkofagus, batu kenong dan manik-manik.

Peninggalan budaya megalitikum di wilayah Jawa Timur bagian Timur seperti di wilayah Jember, Bondowoso, Situbondo dan Banyuwangi cukup banyak. Dari

beberapa penelitian selama ini, diketahui bahwa peninggalan yang terdapat di wilayah Bondowoso sangat padat sebarannya dan variasi hasil budayanya paling banyak. Kabupaten Bondowoso berbatasan dengan Kabupaten Situbondo di utara, Kabupaten Banyuwangi di timur, Kabupaten Jember di selatan, serta Kabupaten Probolinggo di barat (Prasetyo, 1999).

Bentuk peninggalan di wilayah Bondowoso banyak didominasi oleh peninggalan zaman purbakala yaitu zaman megalitikum. Salah satu peninggalan bangunan megalitik di Kabupaten Bondowoso terdapat di Desa Pakauman yang memiliki  $\pm 640$  benda-benda bersejarah dari kebudayaan megalitikum, seperti dolmen, menhir, sarkofagus dan kubur batu. Selain itu ada juga macam-macam kebudayaan batu yang lain seperti batu kenong, pelinggih, gua buto, ekopak, dan arca batu (Indrawati, 2010). Komplek situs umumnya tersusun atas batuan andesit, dengan ukuran elemen-elemennya bervariasi bergantung dari fungsi elemen tersebut. Nilai resistivitas pada batuan andesit adalah  $4,5 \times 10^4 \Omega\text{m}$  (basah) –  $1,7 \times 10^2 \Omega\text{m}$  (kering) (Telford *et al.*, 1990). Tekstur batuan andesit terlihat ukuran kristal tidak sama besar, ada yang halus dan ada yang kasar, tekstur demikian disebut porfiritik.

Untuk mendeteksi ada tidaknya suatu peninggalan situs purbakala yang berupa sisa atau runtuhannya bangunan, candi, batuan dan yang bersifat arkeologis lainnya yang masih terkubur maka diperlukan metodologi dan alat ukur yang dapat mengukur parameter-parameter fisika yang berasosiasi dengan keberadaan peninggalan situs purbakala. Dalam pendugaan keadaan bawah permukaan bumi diperlukan suatu metode geofisika salah satu metodenya adalah metode geolistrik. Prinsip dasar metode ini adalah mempelajari variasi nilai resistivitas batuan bawah permukaan yang berasosiasi dengan keberadaan peninggalan situs purbakala. Parameter resistivitas diperoleh dengan mengukur arus yang diinjeksikan ke dalam bumi dan mengukur beda potensial yang ditimbulkannya (Siyamah, 2010).

Metode geolistrik resistivitas yang digunakan pada penelitian ini adalah metode geolistrik resistivitas 3D. Salah satu konfigurasi yang sering digunakan dalam

eksplorasi geolistrik resistivitas 3D adalah konfigurasi *Pole-pole*. Konfigurasi *Pole-pole* memiliki keunggulan untuk mendeteksi adanya besarnya resistivitas bawah permukaan tanah. Menurut Loke (1999), kelebihan dari konfigurasi *Pole-pole* dapat mencakup daerah horisontal yang luas dan kedalaman yang dalam. Pada konfigurasi *Pole-pole* ada dua elektroda yang diletakkan jauh tak terhingga dari tempat pengukuran. Nilai resistivitas semu bergantung pada geometri dari konfigurasi elektroda yang digunakan, yang didefinisikan sebagai faktor geometri (Reynold, 1997).

Beberapa penelitian telah berhasil dilakukan dengan menggunakan metode geolistrik resistivitas 3D, diantaranya oleh Dahlin dan Bersnstone (1997) dengan menggunakan metode geolistrik resistivitas 3D dapat mengidentifikasi posisi pembuangan limbah di Lenarcken Swedia. Hiden dan Syamsuddin (2003) dengan menggunakan metode geolistrik resistivitas 3D dapat mengidentifikasi sebaran lapisan batuabara. Selain itu, Pranita (2010) juga telah melakukan penelitian dengan metode ini untuk mengetahui pola distribusi resistivitas bawah permukaan di daerah potensi mineral, di Baban Timur, Kabupaten Jember. Pada skala laboratorium dengan konfigurasi *Pole-pole* Jain (2007) untuk studi eksplorasi batubara, penelitian tersebut mampu menentukan pencitraan pada penampang vertikal dan horisontal dengan baik. Kesamaan dari penelitian-penelitian ini adalah menggunakan metode geolistrik resistivitas 3D.

Penelitian yang terkait dengan peninggalan situs purbakala dilakukan oleh Suparwoto *et al.*, (1997) dengan menggunakan pola anomali medan magnet total dapat menginterpretasikan pendugaan keberadaan batu candi di situs purbakala Candi Kedulan. Sismanto dan Suparwoto (1997) dengan menggunakan metode geolistrik *Half Schlumberger* untuk survei arkeologi di candi Palaosan kidul Prambanan Yogyakarta, penelitian tersebut berhasil mendeteksi target sisa pagar candi Palaosan kidul yang terkubur pada kedalaman puncak 0,4-0,5 meter.

Daerah Pakauman merupakan salah satu daerah yang memiliki sebaran situs megalitikum yang sangat padat. Dengan menggunakan teknik akuisisi data geolistrik

resistivitas 3D diharapkan dapat diperoleh suatu pencitraan resistivitas bawah permukaan 3D yang lebih optimal.

### **1.2 Rumusan Masalah**

Adapun rumusan masalah pada penelitian ini adalah bagaimanakah pola distribusi resistivitas bawah permukaan dengan menggunakan metode geolistrik resistivitas 3D di daerah batuan megalitikum situs purbakala di Pakauman, Kecamatan Grujugan, Kabupaten Bondowoso?

### **1.3 Batasan Masalah**

Batasan masalah yang digunakan yaitu

1. Luas area penelitian 50 x 50 meter dengan spasi antar elektroda adalah 5 meter.
2. Penelitian ini dilakukan di Desa Pakauman Kecamatan Grujugan Kabupaten Bondowoso.

### **1.4 Tujuan Penelitian**

Tujuan yang ingin dicapai pada penelitian ini adalah untuk mengetahui letak keberadaan dan kedalaman batuan megalitikum pada situs purbakala secara vertikal maupun horisontal dengan menggunakan metode geolistrik resistivitas 3D.

### **1.5 Manfaat Penelitian**

Hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan informasi mengenai kondisi bawah permukaan situs megalitikum berdasarkan data resistivitasnya serta memberikan pengetahuan yang lebih luas lagi di bidang eksplorasi geofisika dan sebagai dasar untuk penelitian lebih lanjut.

## **BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA**

### **2.1 Situasi dan Kondisi Geologi Daerah Penelitian**

Letak geografis Kabupaten Bondowoso terletak di antara 7°50'10" Lintang Selatan dan 113°48'27" - 113°48'26" Bujur Timur dan terletak pada ketinggian  $\pm$  253 m di atas permukaan laut (Bappeda, 2009). Letak Kabupaten Bondowoso tidak berada pada daerah yang strategis. Meskipun berada di tengah, namun Kabupaten Bondowoso tidak dilalui jalur arteri atau jalur Pantura yang menghubungkan antar Provinsi di Pulau Jawa (Husni, 2010). Secara administratif wilayah Kabupaten Bondowoso terdiri dari 20 kecamatan, 185 desa dan 10 kelurahan, 624 dusun, 4.948 rukun warga dan 13.472 rukun tetangga. Kecamatan Grujugan termasuk wilayah yang terletak di Kabupaten Bondowoso dan Desa Pakauman merupakan salah satu desa yang terdapat di Kecamatan Grujugan Kabupaten Bondowoso Provinsi Jawa Timur.

Keberadaan situs sejarah megalitikum di Desa Pakauman tidak dapat dipisahkan dengan faktor lingkungan sekitar karena kondisi geografis dan keadaan masyarakat menjadi faktor penentu situs sejarah megalitik. Situs Pakauman merupakan sebidang tanah dan sekaligus merupakan lahan pertanian. Sementara itu kondisi lingkungan di situs Pakauman Bondowoso terdapat kecenderungan bahwa pemukiman di Pakauman memilih tempat yang elevasinya relatif rendah dengan jenis tanaman yang bervariasi (Mulyadi, 1997).

### **2.2 Situs Batuan Megalitikum**

Pada zaman megalitikum manusia purba telah mengenal suatu kepercayaan terhadap kekuatan gaib atau luar biasa di luar kekuatan manusia. Mereka percaya bahwa roh para nenek moyang mereka tinggal di tempat tertentu atau berada di ketinggian misalnya di atas puncak bukit atau puncak pohon yang tinggi (Mashoed,

2004). Untuk tempat turunnya roh nenek moyang inilah didirikan bangunan megalitik yang pada umumnya dibuat dari batu inti yang utuh, kemudian diberi bentuk atau dipahat sesuai dengan keinginan atau inspirasi. Bangunan megalitikum hampir semuanya berukuran besar (Poesponegoro dan Notosusanto, 2008).

Bangunan megalitik merupakan cabang dari zaman neolitik atau batu baru (batu muda) yang muncul setelah tradisi bercocok tanam mulai meluas. Berdasarkan nilai dan fungsinya cagar budaya di situs Pakauman, Kecamatan Grujung Kabupaten Bondowoso terdiri dari:

### 2.2.1 Pandhusa

Pandhusa merupakan kubur batu dalam bentuk dolmen atau sarkofagus. Istilah ini khusus digunakan oleh penduduk di bagian Timur Jawa Timur (Poesponegoro dan Notosusanto, 2008). Ciri khas pandhusa yang membedakan dengan dolmen adalah kaki penyanggah yang ukurannya kecil dan jumlahnya tidak selalu berjumlah empat serta biasanya tertanam di tanah. Jumlah pandhusa di situs Pakauman sebanyak 12 (dua belas) macam.



**Gambar 2.1** Pandhusa

### 2.2.2 Patung Menhir

Patung menhir adalah bangunan berbentuk tiang atau tugu batu yang didirikan sebagai peringatan atau lambang tanda jasa bagi arwah nenek moyang semasa hidupnya yang kemudian dijadikan benda pemujaan. Masyarakat setempat menyebut patung nenek moyang, karena patung tersebut dibuat menyerupai orang. Patung nenek moyang masih berdiri tegak dan telah dibuatkan pondasi serta diplester, masyarakat sekitar juga ada yang menyebut patung ini dengan *Betoh Nyai* karena bentuknya seperti perempuan, patung ini berukuran tinggi 153 cm, lingkar dada 60 cm, lingkar kepala 46 cm dan tebal 52 cm (Prasanti, 1998). Patung ini berkaki akan tetapi pada bagian bawah patung meruncing guna penancapan dalam tanah (Sumarno, 1989). Adapun ciri dari patung ini adalah bentuk patung seperti patung berdiri dengan pahatan masih sederhana terbuat dari batu monolit, kepala patung bulat, badan gemuk sehingga tampak seperti tidak mempunyai leher, bentuk muka sederhana, telinga lebar, pantat besar sehingga tampak seperti pantat wanita dan tidak menunjukkan jenis kelamin (Mulyadi, 1997). Patung menhir berfungsi sebagai tempat pemuja roh leluhur yang oleh masyarakat sekitar sampai sekarang masih dikramatkan.



**Gambar 2.2** Patung menhir

### 2.2.3 Pelinggih Batu

Pelinggih batu disebut juga takhta batu (*Stone-Seat*) yang terdiri dari sebuah alas sandaran, batu alas dan batu sandaran pada umumnya datar. Batu pelinggih ini berfungsi sebagai tempat upacara dalam hubungan dengan pemujaan arwah leluhur (Poesponegoro dan Notosusanto, 2008). Batu peninggalan prasejarah yang terdapat di situs Pakauman ini terdapat di dalam pabrik yang produksi yakni PT. Kayu Selasih Indah.



**Gambar 2.3** Pelinggih batu

### 2.2.4 Dolmen

Dolmen dan pandhusa yang terdapat di situs Pakauman merupakan daya tarik tersendiri bagi wisatawan karena bentuknya yang unik dan masih utuh karena dibiarkan seperti adanya, kecuali salah satu dolmen yang telah roboh. Masyarakat setempat menyebut dolmen ini dengan nama “*Betoh Meja*” yang artinya Meja Batu. Dolmen merupakan salah satu peninggalan kebudayaan megalitikum yang terdiri dari sebuah batu lebar yang ditopang oleh empat buah batu penyangga sebagai tiang sehingga menyerupai bentuk meja. Dilihat dari fungsinya dolmen merupakan tempat untuk mengadakan kegiatan dalam hubungan dengan pemujaan arwah leluhur (Poesponegoro dan Notosusanto, 2008). Dalam suatu upacara tradisional biasanya



diletakkan sesajian tertentu yang dipersembahkan kepada arwah nenek moyang, jadi dolmen difungsikan sebagai meja persembahan, kolong bagian bawah dolmen juga kadang dimaksudkan sebagai tempat penguburan mayat.



**Gambar 2.4** Dolmen

#### 2.2.5 Sarkofagus

Sarkofagus merupakan batu yang berfungsi sebagai tempat mengubur mayat manusia pada zaman megalitikum. Manusia pada masa itu telah memiliki tingkat kemajuan kebudayaan yang cukup tinggi. Sarkofagus memiliki wujud yang hampir sempurna, sehingga memberikan suasana yang kondusif ataupun sarkofagus tersebut menyimpan misteri keajaiban. Situs Pakauman memiliki 15 (lima belas) macam sarkofagus yang dibuat dari batu konglomerat. Berdasarkan bentuknya diperkirakan sarkofagus merupakan penguburan pertama (primer), dengan cara mayat (jenazah) diletakkan dalam posisi lurus (Poesponegoro dan Notosusanto, 2008).



**Gambar 2.5** Sarkofagus

#### 2.2.6 Batu Kenong

Batu kenong yang terdapat di situs Pakauman adalah batu kenong andesit yang berbentuk silinder dengan tonjolan di puncaknya yang menyerupai kenong pada instrumen gamelan. Situs Pakauman memiliki banyak batu kenong, pada tahun 1998 berjumlah 65 buah (Prasanti, 1998), dan sekarang batu kenong bertambah menjadi 66 buah karena pada awal tahun 2008 ditemukan kembali 1 (satu) buah batu kenong oleh petani sewaktu menggarap sawah. Batu kenong di situs Pakauman banyak yang berkelompok, terdiri dari 5 (lima) batu kenong. Ukuran batu kenong beragam antara 40 sampai dengan 100 cm, dan tingginya 70 cm (Sumarno, 1989). Batu kenong tersebut banyak tersebar di ladang maupun di sawah milik penduduk. Oleh masyarakat setempat dibiarkan saja maupun berada di tengah-tengah sawah mereka, karena mereka menganggap hal tersebut sudah biasa sehingga tidak mengganggu sawahnya.



**Gambar 2.6** Batu kenong

Tradisi pendirian bangunan-bangunan megalitikum selalu berdasarkan kepercayaan akan adanya hubungan antara yang hidup dan yang telah mati. Jasad dari orang yang mati dipusatkan pada bangunan-bangunan batu besar yang didirikan dan kemudian menjadi medium penghormatan dan lambang dari orang yang telah mati (Sumarno, 1989).

### **2.3 Batuan Beku**

Batuan adalah material yang juga mempunyai daya hantar listrik dan nilai resistivitas tertentu. Batuan yang sama belum tentu mempunyai resistivitas yang sama. Sebaliknya nilai resistivitas yang sama bisa dimiliki oleh batuan-batuan berbeda, hal ini terjadi karena nilai resistivitas batuan memiliki rentang nilai yang bisa saling tumpang tindih. Para ahli geologi mengkasifikasikan batuan dalam tiga kelompok dasar: beku (*igneous*), sedimen (*sedimentary*), dan metamorf

(*metamorphic*). Batuan merupakan campuran dari berbagai mineral dan senyawa, dan komposisinya sangat bervariasi (Bowles, 1989).

Batuan beku adalah batuan hasil pembentukan cairan magma, baik di dalam maupun di atas permukaan bumi, sehingga tekstur yang terbentuk sangat tergantung pada kondisi pembekuannya. Batuan beku *ekstrusif* (lelehan) terbentuk ketika batuan cair mengeras sesudah mencapai permukaan tanah. Ekstrusif yang paling banyak terdapat terbentuk pada saat gunung meletus. Ciri khas batuan beku adalah kenampakannya yang kristalin, yaitu kenampakan suatu massa dari unit-unit kristal yang saling mengunci (*Interlocking*) kecuali gelas yang bersifat kristalin. Struktur kristal dari batuan ekstrusif cenderung berbutir-halus sebagai akibat dari pendinginan yang cepat. Beberapa batuan vulkanis mungkin agak berpori (batu apung dan scoria) karena batu tersebut memadat ketika uap dan gas lainnya masih bergelembung (Endarto, 2005).

Batuan beku diklasifikasikan menurut tekstur, dan komposisi mineralnya (Bowles, 1989). Tekstur batuan beku dihasilkan oleh perbedaan proses pembekuannya, sedangkan komposisi mineral batuan beku sangat tergantung pada komposisi kimia magma dan kondisi lingkungan proses kristalisasinya. Batuan beku yang mempunyai komposisi mineral didominasi oleh mineral-mineral tersebut disebut dengan tipe granitik. Batuan beku intermediate disusun oleh mineral-mineral yang terdapat di bagian tengah, salah satunya adalah batu andesit.

Batuan andesit merupakan batuan beku yang mempunyai kandungan silika yang lebih tinggi dibandingkan dengan batuan basalt. Secara umum mempunyai warna yang menandakan dengan baik akan kandungan silika dari lava, dengan kandungan basalt yang terlihat gelap. Batuan andesit termasuk golongan batuan intermediet dengan kadar silika  $\text{SiO}_3$  adalah 57,5 %. Batuan ini umumnya akan menghasilkan tanah-tanah yang kaya dan subur karena mengandung unsur-unsur basa yang mudah mengalami proses pelapukan sehingga membentuk tanah dengan tekstur yang halus (Budi Santoso, 1987).

## 2.4 Resistivitas Batuan dan Mineral

Sifat listrik batuan adalah kelistrikan batuan jika dialirkan arus listrik ke dalamnya. Arus listrik ini dapat berasal dari alam itu sendiri akibat adanya ketidaksetimbangan atau arus listrik sengaja diinjeksikan ke dalam lapisan.

Menurut Hendrajaya dan Arif (1990), sifat listrik batuan merupakan karakteristik dari batuan yang dialiri arus listrik ke dalam batuan tersebut. Arus listrik ini dapat berasal dari alam sendiri sebagai akibat dari ketidakseimbangan konsentrasi atau dapat juga berasal dari arus listrik yang dengan sengaja diinjeksikan ke dalamnya. Arus listrik dapat dihantarkan ke dalam batuan dengan tiga cara yaitu: konduksi elektrolitik, konduksi dielektrik dan konduksi elektronik. Konduksi elektrolitik terjadi karena adanya pergerakan ion-ion elektrolit yang relatif lambat. Konduksi ini bergantung pada jenis ion, konsentrasi dan mobilitas ion, dimana cairan-cairan elektrolitik mengisi pori-pori batuan. Konduksi dielektrik terjadi jika batuan bersifat dielektrik terhadap aliran arus listrik yaitu, terjadi polarisasi muatan saat bahan dialiri arus listrik. Konduksi elektronik terjadi ketika batuan mempunyai banyak elektron bebas sehingga arus listrik dihantarkan dalam batuan tersebut oleh elektron-elektron bebas (Reynolds, 1997).

Sifat dari mineral golongan logam mempunyai sifat konduktivitas listrik yang sangat baik dan mempunyai nilai resistivitas listrik yang rendah. Resistivitas merupakan suatu parameter yang bergantung pada sifat-sifat material penghantar. Resistivitas juga merupakan perbandingan antara kuat medan listrik dengan rapat arus, dengan teori arus dapat mengalir bila ada beda potensial atau diberikan medan listrik (dalam suatu konduktor). Variasi nilai – nilai resistivitas batuan dan mineral bumi ditunjukkan dalam tabel di bawah ini:

Tabel 2.1 Nilai resistivitas batuan dan mineral bumi

Material	Resistivitas pada 20 <sup>0</sup> ( $\Omega m$ )
Udara	0
Air asin	0,2
Air Tanah	0,5 – 200
Lempung	1 – 100
Pasir	1 – 1000
Tembaga	1 – 1,7
Magnesium	4,2
Bijih besi	0,1 – 25
Khrom	13.2
Aluvium	10 – 800
Mangan	44 – 160
Kerikil	100 – 600
Batu pasir	200 – 8000
Gamping	50 – 1 x 10 <sup>7</sup>
Karbon	3000
Batuan garam	30 – 1 x 10 <sup>13</sup>
Kwarsa	4 x 10 <sup>10</sup> – 2 x 10 <sup>14</sup>
Andesit	1,7 x 10 <sup>2</sup> – 4,5 x 10 <sup>4</sup>

(Sumber: Telford *et al.*, 1990).

Menurut (Telford *et al.*, 1990) nilai resistivitas batuan dapat digolongkan menjadi tiga golongan, yaitu:

- Konduktor baik :  $10^{-8} < \rho < 1 \Omega m$
- Konduktor pertengahan :  $1 < \rho < 10^7 \Omega m$
- Isolator :  $\rho > 10^7 \Omega m$

## 2.5 Metode Geolistrik Resistivitas

Metode pengamatan geofisika pada dasarnya adalah mengamati gejala-gejala gangguan yang terjadi pada keadaan normal. Gangguan ini dapat bersifat statik dapat juga bersifat dinamik, yaitu gangguan yang dipancarkan ke bawah permukaan bumi. Metode geolistrik resistivitas merupakan salah satu metode yang paling umum digunakan dalam eksplorasi geolistrik. Metode ini digunakan untuk menggambarkan keadaan bawah permukaan dengan mempelajari resistivitas listrik dari lapisan batuan di dalam bumi, dimana bumi tersusun atas batuan yang memiliki daya hantar listrik yang berbeda-beda. Pada metode ini, arus listrik dialirkan ke dalam lapisan bumi melalui dua buah elektroda potensial. Dengan diketahuinya harga arus potensialnya maka bisa ditentukan nilai resistivitasnya. Menurut Loke (1995), data yang diperoleh di lapangan merupakan data nilai resistivitas bawah permukaan. Berdasarkan data tersebut kemudian dilakukan perhitungan *inversi* sehingga diperoleh variasi resistivitas dari suatu sistem pelapisan tanah yang berasosiasi dengan struktur geologi di bawah permukaan (Santoso, 2002). Berdasarkan nilai resistivitas struktur lapisan bawah permukaan bumi, dapat diketahui jenis material pada lapisan tersebut (Telford *et al.*, 1990). Metode geolistrik juga dapat digunakan pada penyelidikan hidrogeologi seperti penentuan akuifer dan adanya kontaminasi, penyelidikan mineral, survei arkeologi dan deteksi *hotrocks* pada penyelidikan panas bumi (Reynold, 1997).

Metode geolistrik resistivitas diterapkan dengan menggunakan sumber arus buatan yang diinjeksikan ke dalam tanah melalui ujung-ujung elektroda (Telford *et al.*, 1990). Metode geolistrik resistivitas menghasilkan variasi perubahan nilai resistivitas (distribusi resistivitas) baik ke arah horisontal maupun vertikal. Metode geolistrik resistivitas efektif bila digunakan untuk eksplorasi yang sifatnya dangkal. Oleh karena itu metode ini jarang digunakan untuk eksplorasi minyak, tetapi lebih banyak digunakan dalam bidang geologi seperti penentuan kedalaman batuan dasar, pencairan reservoir air, juga dalam eksplorasi geothermal dan geofisika lingkungan (Tim Asisten Geofisika, 2004).

Berdasarkan teknik pengukuran geolistrik, dikenal dua teknik pengukuran yaitu metode geolistrik resistivitas *mapping* dan *sounding (drilling)*. Metode geolistrik resistivitas *mapping* merupakan metode resistivitas yang bertujuan untuk mempelajari variasi resistivitas lapisan bawah permukaan secara horisontal. Oleh karena itu, pada metode ini digunakan jarak spasi elektroda yang tetap untuk semua titik *sounding* (titik amat) di permukaan bumi. Metode geolistrik resistivitas *sounding* bertujuan untuk mempelajari variasi resistivitas batuan di bawah permukaan bumi secara vertikal. Pada metode ini, pengukuran pada suatu titik *sounding* dilakukan dengan jalan mengubah-ubah jarak elektroda. Perubahan jarak elektroda dilakukan dari jarak elektroda kecil kemudian membesar secara gradual. Jarak elektroda ini sebanding dengan kedalaman lapisan batuan yang terdeteksi. Semakin besar jarak elektroda, semakin dalam lapisan batuan yang terdeteksi. Pada pengukuran di lapangan, pembesaran jarak elektroda dapat dilakukan jika menggunakan alat geolistrik yang memadai. Dalam hal ini alat tersebut harus dapat menghasilkan arus yang besar atau arus yang cukup sensitif dalam mendeteksi beda potensial yang kecil di dalam bumi. Oleh karena itu, alat geolistrik yang baik adalah alat yang dapat menghasilkan arus listrik cukup besar dan mempunyai sensitifitas tinggi (Reynolds, 1997).

Beberapa macam konfigurasi elektroda yang sering digunakan, diantaranya: konfigurasi *Wenner*, konfigurasi *Wenner-Schlumberger*, konfigurasi *Dipole-dipole*, konfigurasi *Pole-pole*, *Rectangle Line Source* dan lain-lain (Anggraeni, 2004).

Pada dasarnya metode geofisika digunakan untuk mengetahui perubahan resistivitas lapisan batuan di bawah permukaan tanah dengan cara mengalirkan arus listrik DC (*Direct Current*) yang dialirkan ke bawah permukaan tanah melalui kontak dua elektroda arus, kemudian distribusi potensial yang dihasilkan diukur melalui dua elektroda potensial. Setelah besar arus dan besar potensial yang dihasilkan terukur, maka resistivitas bawah permukaan dapat dihitung. Untuk mengetahui struktur bawah permukaan lebih dalam, maka spasi masing-masing elektroda arus dan elektroda potensial ditambah secara bertahap. Semakin besar spasi elektroda maka efek



penembusan arus ke bawah semakin dalam. Hubungan antara rapat arus dan intensitas medan listrik dengan Hukum Ohm adalah sebagai berikut:

$$J = \sigma \cdot E \quad (2.1)$$

Dimana  $J = \frac{I}{A} =$  Rapat arus

$\sigma =$  Konduktivitas medium

$E = \frac{V}{L} =$  Intensitas medan listrik

Berdasarkan persamaan di atas diperoleh suatu persamaan umum untuk menentukan resistivitas suatu medium homogen, yaitu:

$$\rho = \frac{1}{\sigma} = R \frac{A}{L} \quad (2.2)$$

Dimana  $\rho =$  Resistivitas material ( $\Omega\text{m}$ )

$L =$  Panjang (m)

$R =$  Tahanan yang diukur ( $\Omega$ )

$A =$  Luas penampang ( $\text{m}^2$ )

Karena  $R = \frac{\Delta V}{I}$ , maka diperoleh persamaan:

$$\rho = \frac{\Delta V}{I} \cdot \frac{A}{L} \quad (2.3)$$

Dimana  $\Delta V =$  Beda potensial

$I =$  Kuat arus yang dilalui oleh bahan (Ampere)

### 2.5.1 Titik Arus Tunggal di Permukaan

Metode pendekatan yang paling sederhana dalam mempelajari secara teoritis tentang aliran arus listrik di dalam bumi adalah bumi dianggap homogen dan isotropis (Telford *et al.*, 1990). Jika sebuah elektroda tunggal yang dialiri arus listrik diinjeksikan pada permukaan bumi yang homogen isotropis, maka akan terjadi aliran arus yang menyebar dalam tanah secara radial dan apabila udara di atasnya memiliki konduktivitas nol, maka garis potensialnya akan berbentuk setengah bola dapat dilihat pada gambar 2.7.

Aliran arus yang keluar dari titik sumber membentuk medan potensial dengan kontur ekipotensial berbentuk permukaan setengah bola di bawah permukaan. Dalam hal ini, arus mengalir melalui permukaan setengah bola maka arus yang mengalir melewati permukaan tersebut adalah:

$$I = 2\pi r^2 J = -2\pi r^2 \sigma \frac{dv}{dr} = -2\pi \sigma A \quad (2.4)$$

Dimana  $J$  = Rapat arus listrik =  $-\sigma \frac{dv}{dr}$

Untuk konstanta integrasi  $A$  dalam setengah bola yaitu:

$$A = -\frac{I\rho}{2\pi} \quad (2.5)$$

Sehingga diperoleh:

$$V = -\frac{A}{r} \left( \frac{I\rho}{2\pi} \right) \frac{1}{r} \quad (2.6)$$

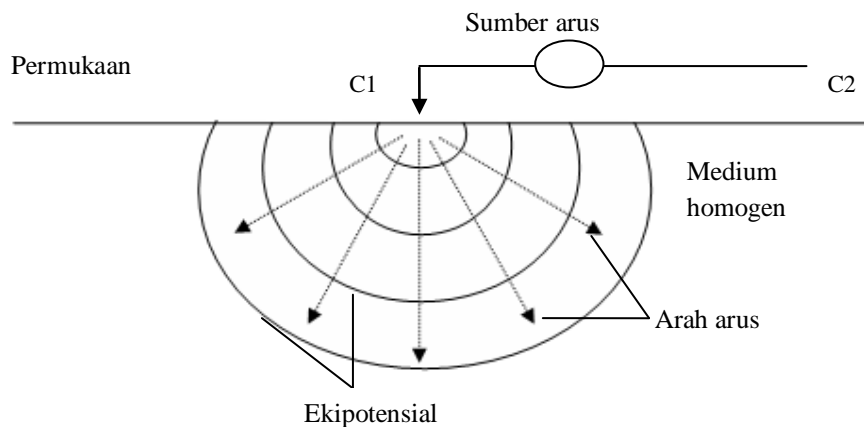
Dimana  $\Delta V$  = Beda potensial

$I$  = Kuat arus yang dilalui oleh bahan (Ampere)

Maka nilai resistivitas listrik yang diberikan oleh medium:

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

Persamaan (2.7) merupakan persamaan ekipotensial permukaan setengah bola yang tertanam di bawah permukaan tanah (Telford *et al.*, 1990).



**Gambar 2.7** Sumber arus berupa titik pada permukaan bumi homogen (Sumber: Telford *et al.*, 1990)

### 2.5.2 Dua Titik Arus di permukaan

Apabila terdapat elektroda arus  $C_1$  yang terletak pada permukaan suatu medium homogen, terangkai dengan elektroda arus  $C_2$  dan diantaranya ada dua elektroda potensial  $P_1$  dan  $P_2$  yang dibuat dengan jarak tertentu seperti pada (gambar 2.8), maka potensial yang berada di dekat titik elektroda tersebut bisa dipengaruhi oleh kedua elektroda arus. Oleh karena itu potensial  $P_1$  yang disebabkan arus di  $C_1$  adalah:

$$V_1 = -\frac{A_1}{r_1} \quad (2.8)$$

Dimana :

$$A_1 = -\frac{I\rho}{2\pi} \quad (2.9)$$

Karena arus pada kedua elektroda adalah sama dan arahnya berlawanan, maka potensial  $P_1$  yang disebabkan arus di  $C_2$  adalah:

$$V_2 = -\frac{A_2}{r_2} \quad (2.10)$$

Dimana

$$A_2 = -A_1 = \frac{I\rho}{2\pi} \quad (2.11)$$

Jika didapatkan potensial total di  $P_1$ :

$$V_1 + V_2 = \frac{I\rho}{2\pi} \left( \frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} \right) \quad (2.12)$$

Dengan cara yang sama diperoleh potensial di  $P_2$  yaitu:

$$V_1 + V_2 = \frac{I\rho}{2\pi} \left( \frac{1}{r_3} - \frac{1}{r_4} \right) \quad (2.13)$$

Sehingga dapat diperoleh beda potensial antara titik  $P_1$  dan  $P_2$  yaitu:

$$\Delta V = \frac{I\rho}{2\pi} \left[ \left( \frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} \right) - \left( \frac{1}{r_3} - \frac{1}{r_4} \right) \right] \quad (2.14)$$

Dimana:  $\Delta V$  : beda potensial antara  $P_1$  dan  $P_2$

$I$  : arus (A)

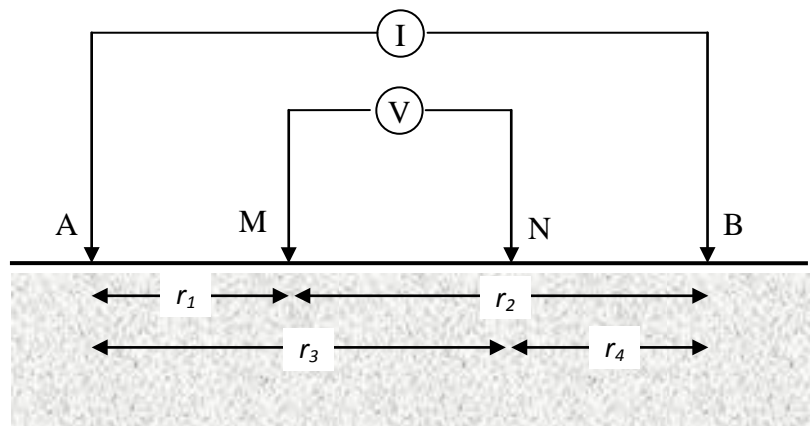
$\rho$  : resistivitas ( $\Omega\text{m}$ )

$r_1$  : jarak  $C_1$  ke  $P_1$  (m)

$r_2$  : jarak  $C_2$  ke  $P_1$  (m)

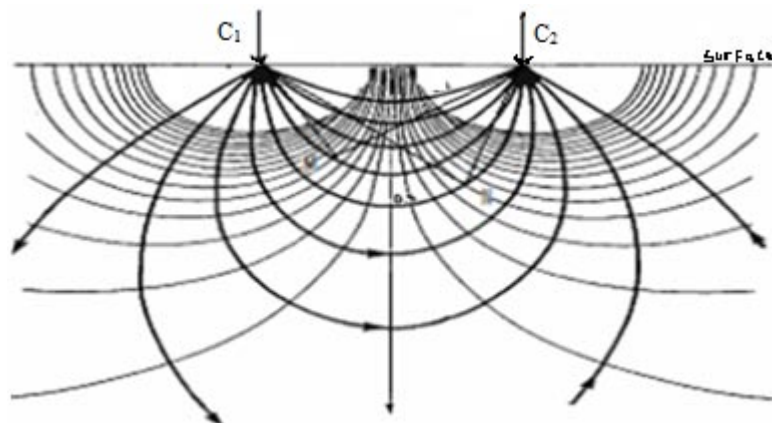
$r_3$  : jarak  $C_1$  ke  $P_2$  (m)

$r_4$  : jarak  $C_2$  ke  $P_2$  (m)



**Gambar 2.8** Dua pasang elektroda arus dan elektroda potensial pada permukaan medium homogen isotropis dengan resistivitas  $\rho$  (Sumber: Telford *et al.*, 1990)

Susunan keempat elektroda tersebut merupakan susunan elektroda yang biasanya dalam metode geolistrik resistivitas. Pada konfigurasi ini garis-garis aliran arus dan ekipotensial diubah oleh dekatnya kedua elektroda arus. Perubahan dari garis-garis ekipotensial yang melingkar lebih jelas pada daerah antara dua elektroda arus sebagaimana ditunjukkan pada gambar 2.9 (Reynolds, 1997).



**Gambar 2.9** Pola aliran arus dan bidang ekipotensial antara dua elektroda arus dengan polaritas berlawanan (Sumber: Reynolds, 1997)

## 2.6 Resistivitas Semu (*Apparent Resistivity*)

Metode geolistrik resistivitas didasarkan pada anggapan bahwa bumi mempunyai sifat homogen isotropis. Dengan asumsi ini, resistivitas yang terukur merupakan resistivitas yang sebenarnya dan tidak tergantung pada spasi elektroda. Namun pada kenyataannya bumi tersusun atas lapisan-lapisan dengan resistivitas yang berbeda-beda, sehingga potensial yang terukur merupakan pengaruh dari lapisan-lapisan tersebut. Karenanya harga resistivitas yang terukur seolah-olah merupakan nilai resistivitas untuk satu lapisan saja. Sehingga resistivitas yang terukur adalah resistivitas semu (Reynolds, 1997).

Berdasarkan persamaan (2.14) besar resistivitas semu dapat dinyatakan dalam bentuk:

$$\rho = 2\pi \left[ \left( \frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} \right) - \left( \frac{1}{r_3} - \frac{1}{r_4} \right) \right]^{-1} \frac{\Delta V}{I} \quad (2.15)$$

Atau 
$$\rho_a = K \frac{\Delta V}{I} \quad (2.16)$$

Dengan

$$K = \frac{2\pi}{\left\{ \left( \frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} \right) - \left( \frac{1}{r_3} - \frac{1}{r_4} \right) \right\}} \quad (2.17)$$

Dimana  $K$  adalah faktor geometri yaitu besaran koreksi letak kedua elektroda potensial terhadap letak kedua elektroda arus. Dengan mengukur  $\Delta V$  dan  $I$  maka dapat ditentukan harga resistivitas  $\rho_a$  (Reynolds, 1997).

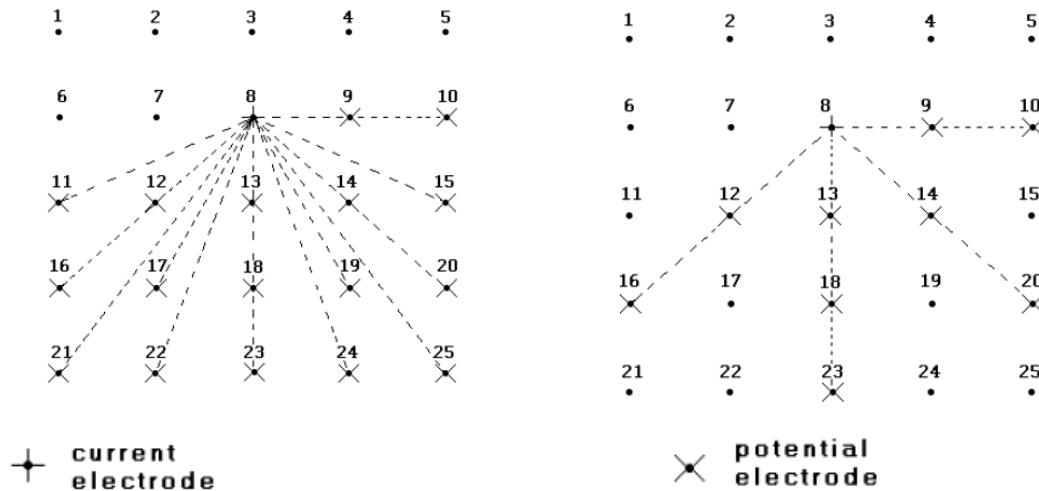
## 2.7 Survei Resistivitas 3D

Bumi sesungguhnya dalam bentuk 3D perlu adanya suatu metode resistivitas yang mampu memberikan penggambaran di bawah permukaan dalam bentuk 3D. Metode geolistrik resistivitas 3D mampu memberikan gambaran 3D dari bawah permukaan tentang resistivitas lebih detail dibandingkan dengan resistivitas 2D, oleh karena itu tidak hanya memberikan citra distribusi resistivitas dalam penampang vertikal saja tetapi juga dalam bentuk penampang horisontal.

Pengukuran dengan konfigurasi Pole-pole dapat dilakukan dengan teknik *complete data set survey* dan *cross-diagonal survey*.

a). *Complete data set survey*

b). *Cross-diagonal survey*



**Gambar 2.10** Teknik pengambilan data resistivitas 3D (Sumber: Loke, 1999)

Teknik *complete data set survey* merupakan suatu teknik pengambilan data yang lengkap pada tiap elektroda. Sedangkan teknik *cross-diagonal survey* merupakan teknik singkat dari teknik *complete data set survey*. Pada teknik *cross-diagonal survey* pengukuran dilakukan sepanjang sumbu-x, sumbu-y dan sumbu diagonal petak lintasan. Kedua teknik tersebut dapat dilihat pada (gambar 2.10).

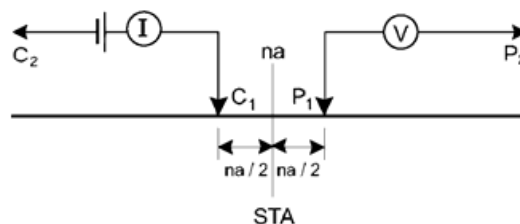
Metode geolistrik resistivitas 3D tidak sering dipakai dalam survei penelitian geofisika, namun resistivitas 3D hanya digunakan dalam pengembangan metode resistivitas itu sendiri. Faktor yang menyebabkan metode geolistrik resistivitas 3D jarang digunakan adalah besarnya faktor biaya, banyak tenaga yang dibutuhkan terutama pada area yang luas. Pada saat ini terdapat dua jenis solusi yang sedang dikembangkan untuk dapat mengatasi permasalahan tersebut. Pertama pengembangan *resistivitymeter* dengan multi-channel yang diharapkan mampu membaca hasil terhadap sekali penginjeksian arus, dengan demikian waktu, biaya dan tenaga yang diperlukan tidak banyak. Kedua mengembangkan teknologi mikro komputer

berkecepatan tinggi yang disiapkan untuk melakukan proses inversi data dalam skala besar dengan petak survei lebih luas dalam waktu yang singkat (Loke, 1999).

## 2.8 Konfigurasi *Pole-pole*

Konfigurasi *Pole-pole* merupakan jenis konfigurasi metode geolistrik yang sering digunakan untuk melakukan eksplorasi resistivitas 3D. Konfigurasi *Pole-pole* memiliki kekurangan dan kelebihan dibandingkan dengan konfigurasi lainnya. Kelebihan dari konfigurasi ini antara lain, mudah untuk menghitung nilai resistivitas semu di lapangan, waktu yang diperlukan lebih singkat karena hanya dua elektroda yang berpindah, titik datum yang hilang pada daerah tepi area survei lebih sedikit dan dapat menyajikan data horisontal yang lebih baik. Sedangkan kekurangan dari konfigurasi ini adalah memerlukan kabel yang cukup panjang elektroda arus dan elektroda potensial yang diletakkan pada titik tak hingga. Konfigurasi ini bertujuan mencatat gradien potensial atau intensitas medan listrik dengan menggunakan pasangan elektroda detektor (potensial) yang berjarak relatif dekat dibanding dengan jarak elektroda arus (Reynolds, 1997).

Pada konfigurasi *Pole-pole*, elektroda arus dan potensial akan diletakkan seperti gambar (2.11). Dalam hal ini, salah satu elektroda arus dan potensial ( $C_1$  dan  $P_1$ ) diletakkan di titik jauh tak hingga (minimal sepuluh kali dari spasi elektroda terbesar). Sedangkan arus dan potensial yang lain diletakkan di daerah survei dengan jarak antara  $C_2$  dan  $P_2$  sebesar  $a$ .



**Gambar 2.11** Konfigurasi *Pole-pole* (Sumber: Prayogo, 2003)

Nilai resistivitas semu yang didapatkan dengan konfigurasi *Pole-pole* yaitu:

$$\rho = 2\pi aR \quad (2.18)$$

Keterangan :

$\rho$  = resistivitas semu

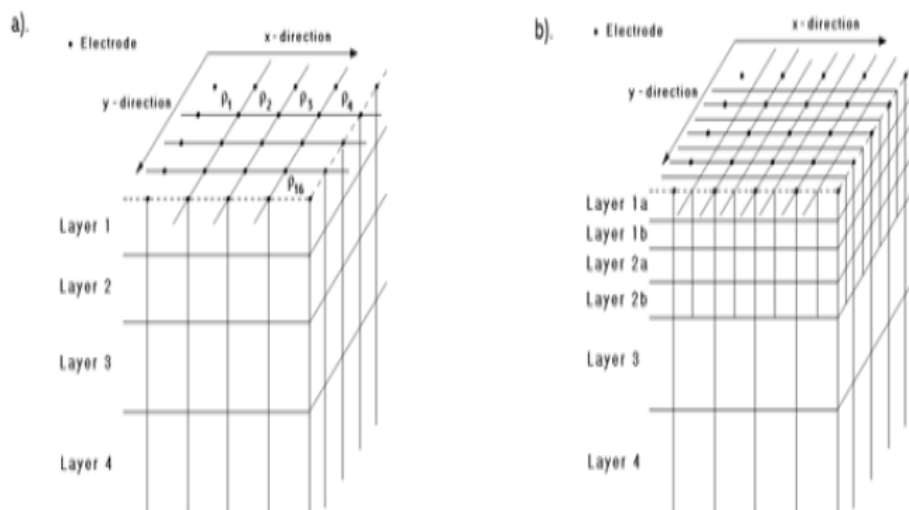
$a$  = spasi elektroda (jarak antara elektroda  $C_1$  dan  $P_1$ )

$R$  = resistivitas yang terukur langsung di lapangan

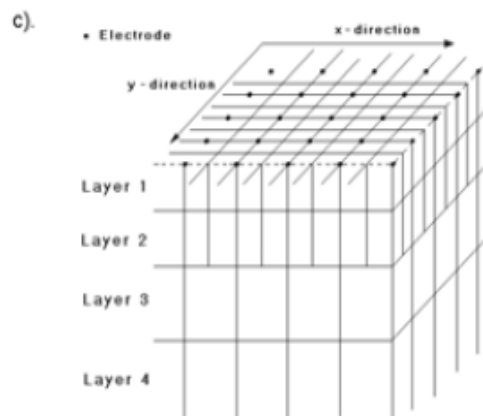
Dari persamaan (2.18) suku  $2\pi a$  merupakan faktor geometri dari konfigurasi *Pole-pole* (Robain *et al.*, 1999).

## 2.9 Software *Res3Dinv*

Suatu perangkat lunak komputer yang menampilkan model resistivitas 3D secara otomatis di bawah permukaan disebut *Res3Dinv*. Hasil data-data pengukuran akan diolah dengan menggunakan *software Res3Dinv*. Pemodelan 3D dilakukan dengan menggunakan program *inversi*.







- (a) Model blok segiempat dengan elektroda pada arah sumbu-x dan sumbu-y;
- (b) Model blok puncak tegak lurus horisontal;
- (c) Model blok dengan arah horisontal dan di dalam arah vertikal.

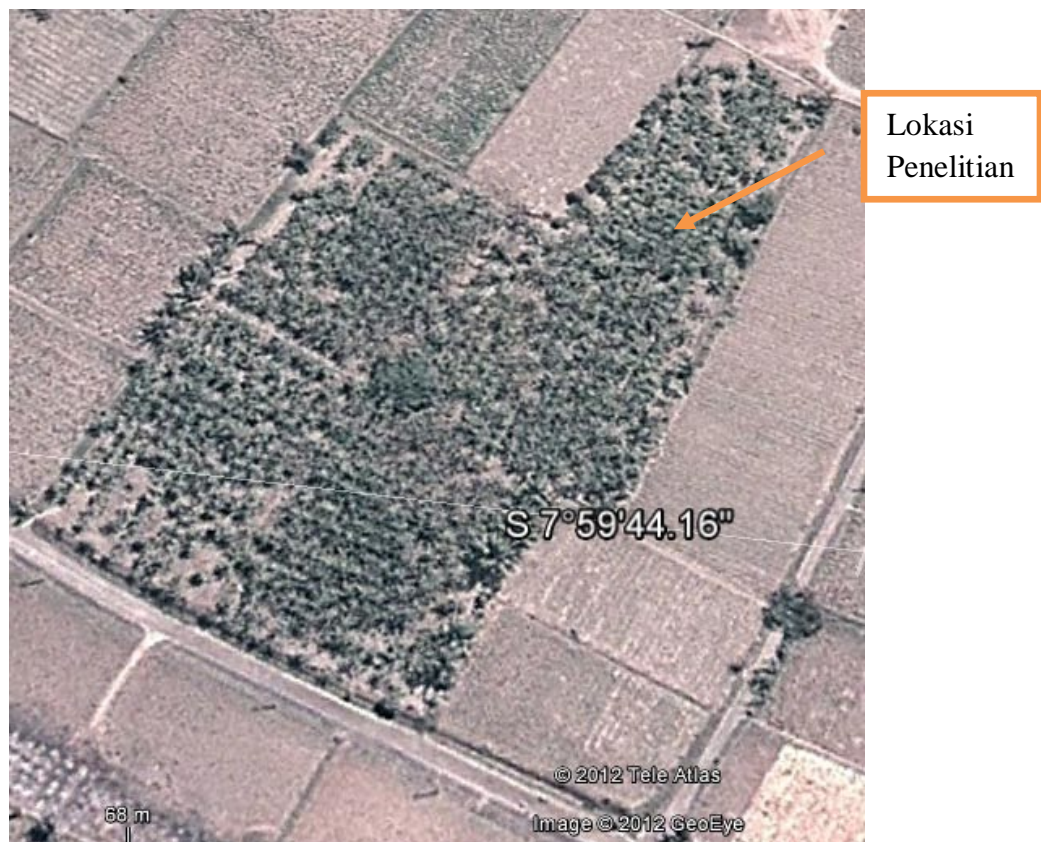
**Gambar 2.12** Model blok 3D (Sumber: Geotomo, 2010)

Program *inversi* menggambarkan dan membagi keadaan bawah permukaan dalam bentuk sejumlah blok 3D yang dapat dilihat pada (gambar 2.12). Model 3D menggunakan program *inversi* yang terdiri dari sejumlah kotak persegi. Susunan kotak persegi ini terikat oleh distribusi dari titik datum dan *pseudosection*. Distribusi dan ukuran kotak secara otomatis dihasilkan dari program, maka jumlah kotak tidak akan melebihi jumlah datum. *Software* ini dapat menampilkan potongan melintang (*cross section*) data geolistrik hasil *inversi* program *Res3Dinv*.

## BAB 3. METODE PENELITIAN

### 3.1 Waktu dan Tempat

Penelitian dilakukan pada bulan Agustus sampai dengan September. Penelitian ini dilakukan di daerah Pakauman, Kecamatan Grugugan, Kabupaten Bondowoso, Jawa Timur. Gambar 3.1 yang ditunjukkan dengan arah panah merupakan peta lokasi yang digunakan dalam penelitian



**Gambar 3.1** Peta lokasi penelitian (Sumber: Google earth, 2012)

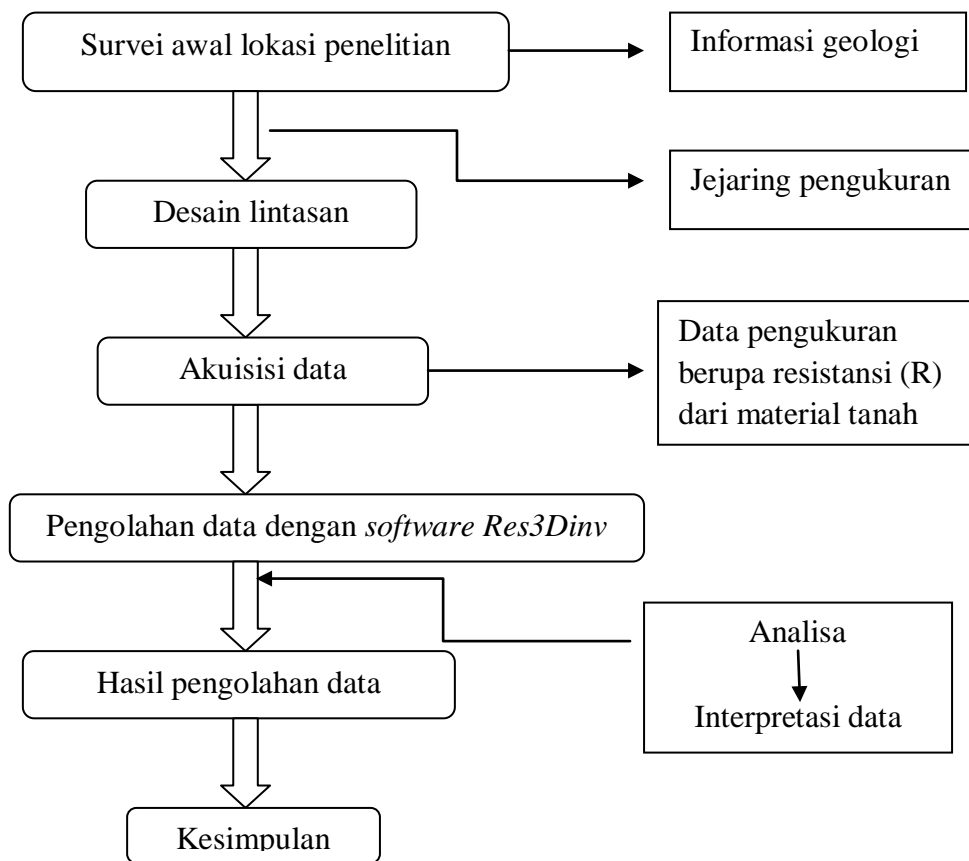
Lokasi penelitian merupakan pepohonan jabon. Berikut gambar lokasi penelitian:



**Gambar 3.2** Lintasan pengukuran pada lokasi penelitian

### 3.2 Langkah-langkah Penelitian

Dalam penelitian ini langkah-langkah yang dilakukan antara lain melakukan survei lokasi penelitian. Dari hasil survei merupakan titik-titik lintasan pengukuran yang akan digunakan dalam proses pengambilan data di lapangan. Data yang diperoleh dari lapangan berupa nilai-nilai resistansi material tanah kemudian data tersebut diolah dengan menggunakan *Microsoft Office Excel* yang kemudian dijalankan dengan program *software Re3Dinv* dan menghasilkan suatu pencitraan yang berupa suatu penampang vertikal dan horisontal kemudian hasil pencitraan tersebut dianalisa untuk penyusunan laporan tahap akhir. Langkah penelitian ini dapat dilihat pada diagram kerja penelitian sebagai berikut:



**Gambar 3.3** Diagram kerja pelaksanaan penelitian

Obyek dari penelitian ini adalah batuan situs purbakala yang berasal dari bangunan megalitikum. Batuan tersebut kemungkinan berada di bawah permukaan dan dapat terdeteksi berdasarkan nilai resistivitasnya. Pengambilan data pada obyek penelitian tersebut dengan cara mengalirkan arus ke dalam tanah melalui titik elektroda dan kemudian mengukur nilai potensial dengan elektroda lain yang seragam atau dekat dengan titik arus yang dialirkan. Kemudian kita dapat menghitung nilai resistivitas berdasarkan besar arus dan potensial yang terukur. Kedalaman pengukuran dapat ditambah dengan menambah jarak (spasi) elektroda. Semakin besar spasi elektroda maka semakin dalam efek penembusan ke dalam medium.

### 3.3 Alat Penelitian

Alat – alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah :

- *Resistivimeter*  
Digunakan untuk mengukur nilai resistansi untuk mendapatkan nilai resistivitas semu.
- 2 Elektroda arus dan 2 elektroda potensial  
Digunakan untuk menginjeksi arus ke dalam tanah dan elektroda potensial untuk menentukan besarnya beda tegangan yang ditimbulkan.
- 4 gulung kabel  
Digunakan sebagai kabel penghubung elektroda dengan *resistivimeter*.
- Accu  
Berfungsi sebagai sumber arus.
- GPS (*Global Positioning System*) Maps 76Csx  
Berfungsi untuk menentukan koordinat lokasi penelitian serta memploting titik-titik lintasan pengukuran untuk memperoleh elevasi data topografi.
- Palu  
Digunakan untuk membantu menanam elektroda.
- Meteran  
Digunakan untuk membantu penentuan panjang lintasan dan spasi.
- *Handy Talky* (HT)  
Sebagai alat penghubung dalam memberikan informasi saat pengambilan data.
- Alat Tulis  
Digunakan untuk mencatat hasil pengamatan.





(i)

(ii)

**Gambar 3.3** Alat Penelitian (i) seperangkat alat penelitian (ii) GPS

### 3.4 Prosedur Pengambilan Data

Data dari hasil pengukuran di lapangan adalah berupa arus, tegangan, dan jarak spasi. Langkah-langkah yang dilakukan adalah sebagai berikut:

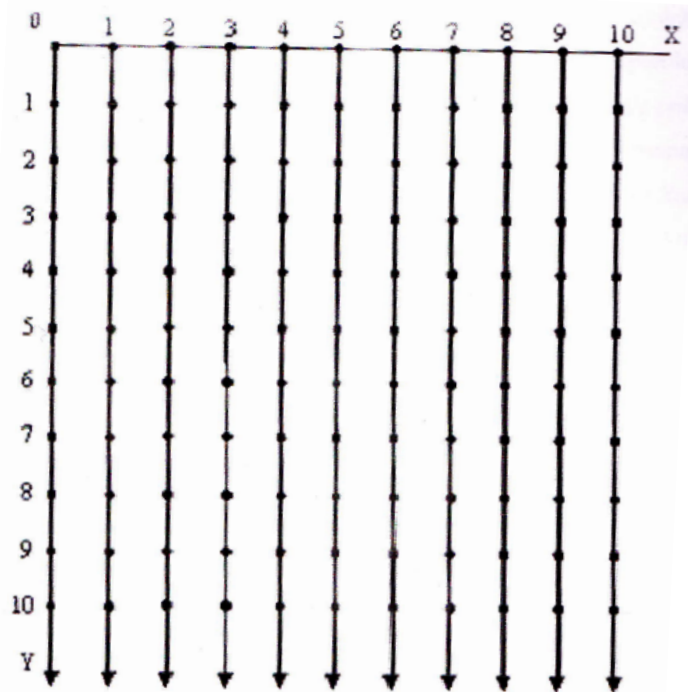
1. Menentukan panjang lintasan dengan menggunakan GPS yaitu 50 meter
2. Mengukur spasi awal yaitu  $a = 5$  m dan ditandai dengan pasak. Pengukuran ini disesuaikan dengan konfigurasi pole-pole
3. Memasang ke empat elektroda yaitu dua elektroda arus dan dua elektroda potensial di tempat yang sudah ditandai dengan pasak
4. Menghubungkan ke empat elektroda tersebut dengan *Resistivitymeter*
5. Mengaktifkan *Resistivitymeter*, kemudian melakukan injeksi arus listrik dalam tanah
6. Mencatat nilai resistansi
7. Memindahkan posisi elektroda sesuai dengan aturan konfigurasi pole-pole kemudian menginjeksikan arus dan mencatat hasilnya. Pemindahan dilakukan terus sampai melengkapi seluruh panjang lintasan

Pengukuran posisi penelitian dilakukan dengan menggunakan GPS. Data yang didapatkan dari pengukuran ini berupa posisi derajat dan elevasi. Pengambilan data ini selain digunakan untuk mengetahui posisi penelitian juga digunakan untuk mengetahui peta kontur topografi lokasi penelitian. Peta kontur topografi ini digunakan untuk menentukan letak lintasan yang akan diambil. Untuk mempermudah analisa dan mendukung data di atas, dilakukan pengambilan data yang berkaitan dengan lokasi penelitian. Data tersebut berupa posisi lokasi penelitian, luas lokasi penelitian. Data tentang letak situs purbakala Pakauman didapatkan dengan cara melakukan observasi dan wawancara dengan penduduk dan petugas daerah setempat.

#### 3.4.1 Akuisisi Data Resistivitas Konfigurasi *Pole-pole*

Pada proses akuisisi data dalam penelitian ini menggunakan metode konfigurasi pole-pole yang biasanya digunakan untuk survei resistivitas 3D. Dalam konfigurasi ini elektroda  $C_1$  dan  $P_1$  bersifat lebih dinamis daripada elektroda  $C_2$  dan  $P_2$  karena pada pengukuran ini hanya elektroda  $C_1$  dan  $P_1$  yang bergerak sedangkan letak elektroda  $C_2$  dan  $P_2$  terpisah jauh dari elektroda  $C_1$  dan  $P_1$ .

Dalam penelitian ini teknik pengukuran yang digunakan adalah dengan teknik *cross-diagonal survey*. Teknik pengukuran ini jumlah data yang didapatkan lebih sedikit dibanding dengan data yang didapat dari teknik *complete data survey*. Keuntungan dari teknik tersebut bila dibandingkan dengan teknik *complete data survey* adalah penghematan waktu dan tenaga operasional.



**Gambar 3.4** Desain pengukuran lintasan pengukuran

Pada desain lintasan dibuat berbentuk persegi panjang dengan panjang sumbu-y adalah 50 meter dan sumbu-x 50 meter. Spasi antar elektroda adalah 5 meter ke arah sumbu-x maupun sumbu-y, sehingga akan terdapat 11 x 11 elektroda. Jumlah titik dalam pengukuran sebanyak 121 titik elektroda (gambar 3.4).

Pengukuran pertama dilakukan dengan teknik *cross-diagonal survey*, dengan meletakkan  $C_1$  pada koordinat (0,0). Sedangkan anak panah menunjukkan arah jalan elektroda  $P_1$  ke arah sumbu-y, contohnya dalam pengukuran pertama pada lintasan sejajar sumbu-y, elektroda  $C_1$  pada koordinat (0,0) sedangkan  $P_1$  sebagai elektroda potensial yang diletakkan pada koordinat (0,1), (0,2), dan (0,3) secara berturut-turut untuk setiap penginjeksian arus dari elektroda  $C_1$ . Jika akuisisi lintasan pertama telah selesai maka dilanjutkan ke lintasan berikutnya pada sumbu-x kedua dan seterusnya hingga pada titik 11 sumbu-x.



Pada survei resistivitas 3D ini menggunakan konfigurasi pole-pole yang memiliki daya penetrasi kedalaman ( $Z$ ) sebesar:

$$Z = 0,867a \quad (2.19)$$

Dimana  $a$  merupakan spasi jarak antar elektroda (Loke, 1999).

Apabila spasi maksimum yang digunakan dalam survei resistivitas 3D ini sejauh 50 m pada sumbu-y, maka kedalaman yang bisa dicapai adalah:

$$Z = 0,867 \times 50 \text{ m}$$

$$Z = 43,35 \text{ m}$$

### 3.4.2 Pengolahan Data

Hasil pengukuran yang didapatkan dari lapang berupa data resistivitas yang diolah dengan menggunakan perangkat lunak *Res3Dinv*. Data resistivitas terlebih dahulu dikalikan dengan faktor geometri konfigurasi pole-pole untuk mendapatkan nilai resistivitas semu atau nilai resistivitas bawah permukaan dengan menggunakan persamaan (2.18). Dari hasil pengolahan data dengan menggunakan perangkat lunak *Res3Dinv* didapatkan distribusi nilai resistivitas bawah permukaan tanah yang berupa citra warna baik dalam bentuk penampang vertikal maupun horisontal.

Langkah-langkah penggunaan program *Res3Dinv* untuk memproses data geolistrik adalah sebagai berikut:

1. Data hasil pengukuran berupa koordinat elektoda arus, koordinat elektroda potensial, kuat arus, dan tegangan diolah dengan program *Excel* untuk menentukan faktor geometri dan nilai resistivitas semu.
2. Data input *Res3Dinv* diletakkan pada *text editor* dengan format input sebagai berikut:

Line 1 : Nama daerah survei

Line 2 : Panjang sumbu x

Line 3 : Panjang sumbu y

Line 4 : Jarak titik sumbu x

Line 5 : Jarak titik sumbu y  
Line 6 : Jenis konfigurasi  
Line 7 : Jumlah total titik datum  
Line 8 : Koordinat elektroda arus, koordinat elektroda potensial  
nilai resistivitas semu untuk titik datum pertama dan seterusnya  
untuk titik datum berikutnya dan mengakhiri input dengan 0  
beberapa kali

3. Menyimpan data input yang terletak dalam *text editor* dalam bentuk *extention.dat*
4. Pada *Res3Dinv* menggunakan menu *file*, untuk membaca data input yang tersimpan dalam *text editor*.
5. Memilih menu *inversion* kemudian *carry out inversion*
6. Memilih menu *display* kemudian *display result*
7. Memilih menu *display* kemudian *display inversion model*

## **BAB 4. HASIL DAN PEMBAHASAN**

### **4.1 Hasil**

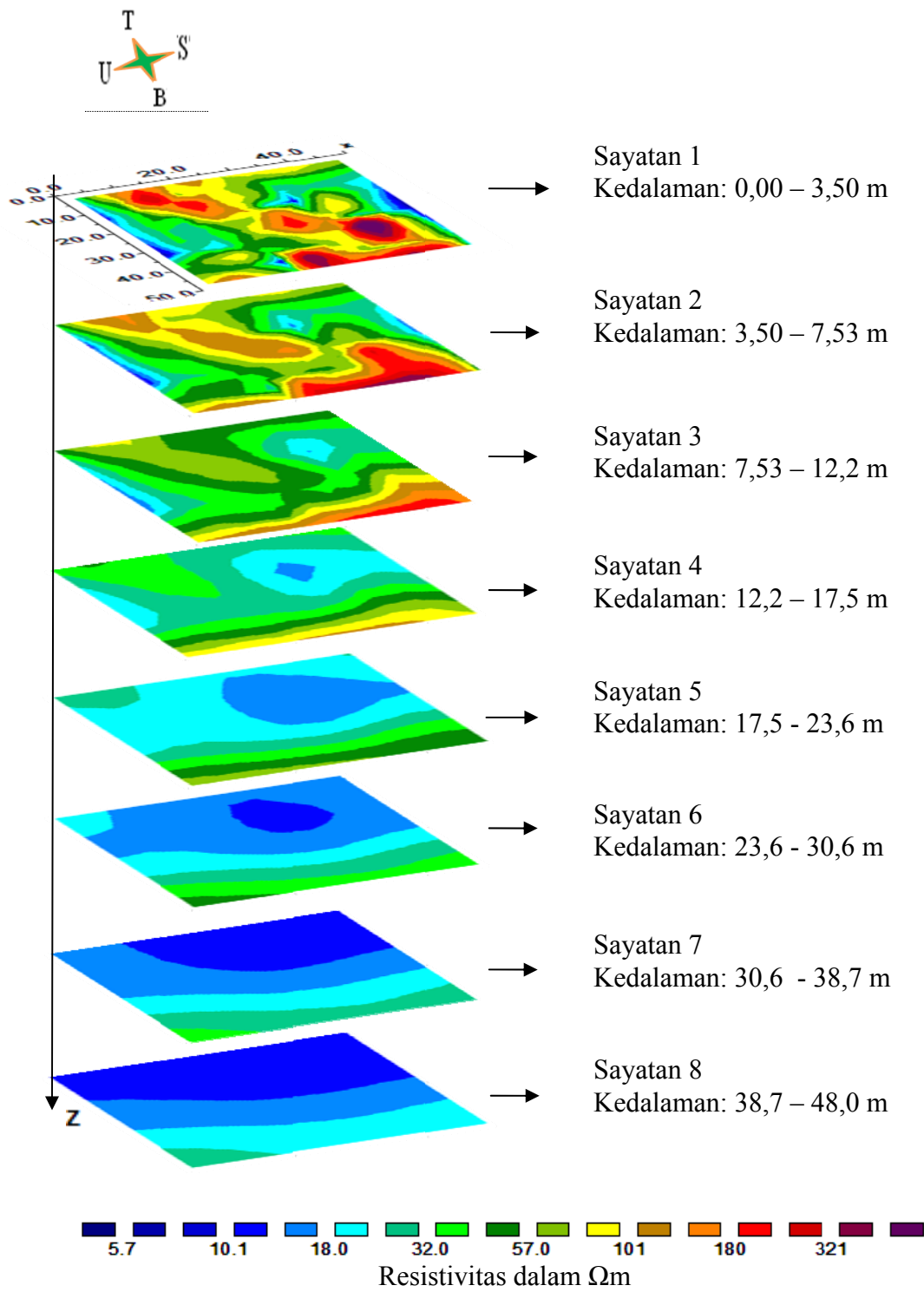
#### 4.1.1 Data Hasil Penelitian

Dari hasil penelitian dengan menggunakan metode geolistrik konfigurasi pole-pole untuk mengetahui pola distribusi resistivitas bawah permukaan di daerah batuan megalitikum situs purbakala di Desa Pakauman Kecamatan Grujungan Kabupaten Bondowoso, diperoleh data nilai-nilai resistansi pada (lampiran B). Dari data tersebut dikalikan dengan faktor geometri konfigurasi pole-pole pada persamaan (2.18) sehingga didapatkan nilai resistivitas semu ( $\rho$ ). Lokasi geografis dari masing-masing lintasan dan elevasi ditentukan dengan menggunakan GPS.

#### 4.1.2 Inversi Data Hasil Penelitian

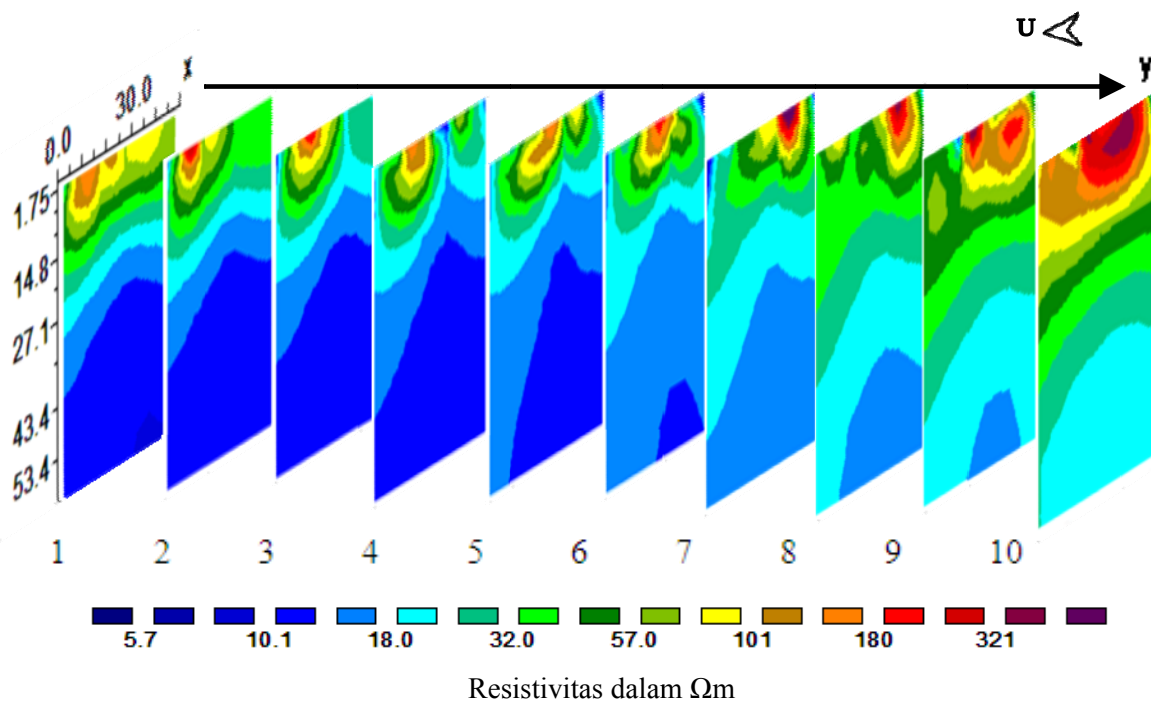
Dari hasil nilai resistivitas semu tersebut kemudian diolah menggunakan *Software Res3Dinv* untuk mendapatkan tampilan 3D distribusi resistivitas bawah permukaan dalam penampang horisontal dan penampang vertikal pada daerah penelitian sehingga dari hasil pencitraan tersebut akan dapat tergambar sebaran situs megalitikum yang terdapat di bawah permukaan tanah. Dari hasil inversi data hasil penelitian baik penampang horisontal maupun penampang vertikal dapat dibuat suatu penampang berupa kubus.

Berikut ini merupakan gambar penampang horisontal maupun vertikal bawah permukaan dari daerah penelitian yang merupakan hasil inversi 3D dengan menggunakan *software Res3Dinv*:



**Gambar 4.1** Penampang horisontal resistivitas bawah permukaan

Hasil pencitraan penampang horisontal yang ditunjukkan pada gambar 4.1 menunjukkan lapisan-lapisan bawah permukaan dalam bentuk sayatan yang terdiri dari 8 sayatan, dengan panjang lintasan 50 meter jarak spasi 5 meter dan jarak antar lintasan 5 meter yang terletak pada koordinat  $07^{\circ} 59' 42,6''$  LS –  $113^{\circ} 47' 40,6''$  BT sampai dengan  $07^{\circ} 59' 40,6''$  LS –  $113^{\circ} 47' 40,9''$  BT yang membentang dari arah utara ke selatan. Dari hasil pengolahan data menggunakan *software Res3Dinv* didapatkan variasi model resistivitas lapisan bawah permukaan, dengan nilai resistivitas berkisar  $5,7 \Omega m - 321 \Omega m$ .



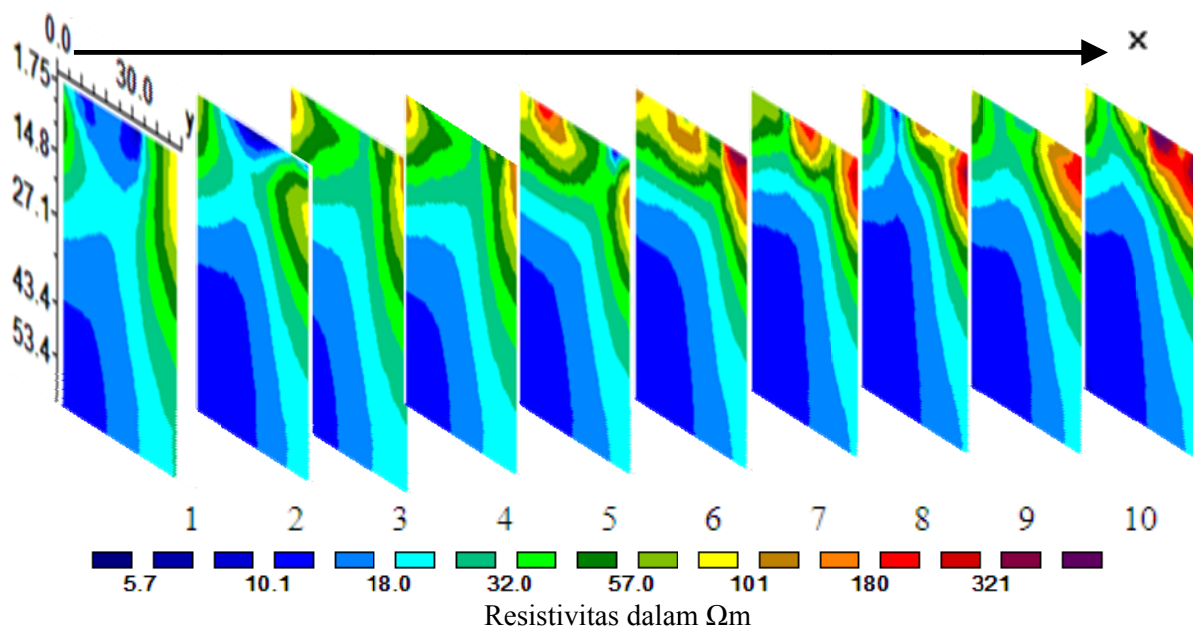
**Gambar 4.2** Penampang vertikal (bidang x-z) bawah permukaan

Keterangan:

- Sayatan 1: mewakili jarak sumbu y antara 0 – 5 m
- Sayatan 2: mewakili jarak sumbu y antara 5 – 10 m
- Sayatan 3: mewakili jarak sumbu y antara 10 – 15 m
- Sayatan 4: mewakili jarak sumbu y antara 15 – 20 m
- Sayatan 5: mewakili jarak sumbu y antara 20 – 25 m

- f) Sayatan 6: mewakili jarak sumbu y antara 25 – 30 m
- g) Sayatan 7: mewakili jarak sumbu y antara 30 – 35 m
- h) Sayatan 8: mewakili jarak sumbu y antara 35 – 40 m
- i) Sayatan 9: mewakili jarak sumbu y antara 40 – 45 m
- j) Sayatan 10: mewakili jarak sumbu y antara 45 – 50 m

Gambar 4.2 merupakan penampang vertikal (bidang x-z) hasil citra warna resistivitas 3D bawah permukaan pada situs megalitikum yang menunjukkan lapisan-lapisan bawah permukaan dalam bentuk sayatan yang terdiri dari 10 sayatan yang berada pada titik awal dengan koordinat  $07^{\circ} 59' 42,6''$  LS –  $113^{\circ} 47' 40,6''$  BT sampai dengan  $07^{\circ} 59' 40,6''$  LS –  $113^{\circ} 47' 40,9''$  BT. Dari hasil pengolahan data *Software Res3Dinv* didapatkan suatu gambar penampang citra bawah permukaan dengan kontur warna berbeda-beda yang menunjukkan jenis mineral dan batuan daerah tersebut dengan nilai resistivitas yang dihasilkan berkisar  $5,7 \Omega m$  –  $321 \Omega m$ .



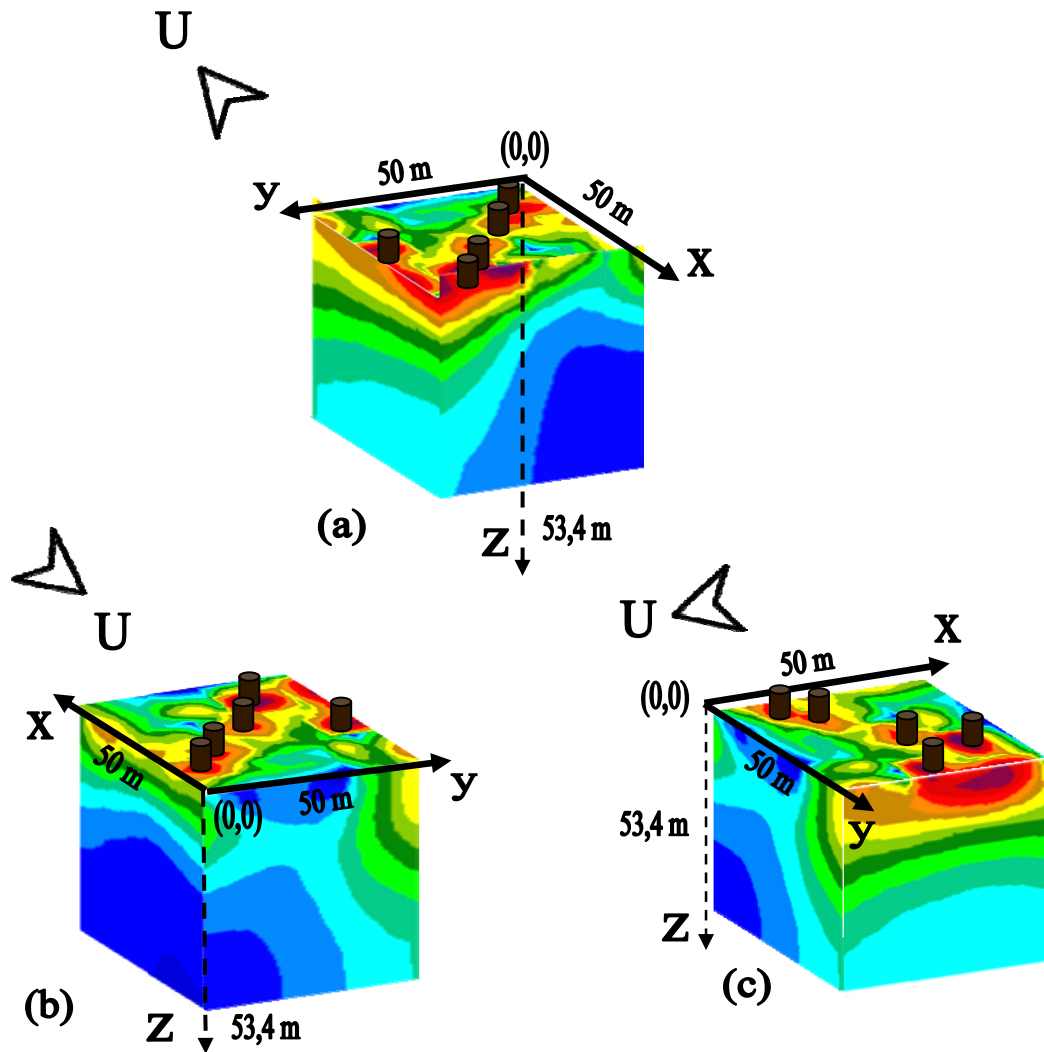
**Gambar 4.3** Penampang vertikal (bidang y-z) bawah permukaan

Keterangan:

- a) Sayatan 1: mewakili jarak sumbu x antara 0 – 5 m
- b) Sayatan 2: mewakili jarak sumbu x antara 5 – 10 m
- c) Sayatan 3: mewakili jarak sumbu x antara 10 – 15 m
- d) Sayatan 4: mewakili jarak sumbu x antara 15 – 20 m
- e) Sayatan 5: mewakili jarak sumbu x antara 20 – 25 m
- f) Sayatan 6: mewakili jarak sumbu x antara 25 – 30 m
- g) Sayatan 7: mewakili jarak sumbu x antara 30 – 35 m
- h) Sayatan 8: mewakili jarak sumbu x antara 35 – 40 m
- i) Sayatan 9: mewakili jarak sumbu x antara 40 – 45 m
- j) Sayatan 10: mewakili jarak sumbu x antara 45 – 50 m

Gambar 4.3 merupakan penampang vertikal (bidang y-z) hasil citra warna resistivitas 3D bawah permukaan pada situs megalitikum yang menunjukkan lapisan-lapisan bawah permukaan dalam bentuk sayatan yang terdiri dari 10 sayatan yang berada pada titik awal dengan koordinat  $07^{\circ} 59' 42,6''$  LS –  $113^{\circ} 47' 40,6''$  BT sampai dengan  $07^{\circ} 59' 40,6''$  LS –  $113^{\circ} 47' 40,9''$  BT dengan nilai resistivitas yang dihasilkan berkisar  $5,7 \Omega m$  –  $321 \Omega m$ .

Hasil pencitraan resistivitas bawah permukaan yang berupa penampang horisontal maupun penampang vertikal dibuat suatu penampang berupa kubus dan secara manual digabungkan antara yang satu dengan yang lain sehingga mendapatkan interpretasi 3D yang ditunjukkan pada gambar 4.4. Kondisi bawah permukaan dapat diamati seperti halnya mengamati suatu potongan lapisan bawah permukaan berbentuk kubus, sehingga dapat diamati dari berbagai sisi. Berikut ini adalah hasil citra 3D bawah permukaan yang berbentuk kubus jika dilihat dari berbagai sisi:



**Gambar 4.4** Citra resistivitas bawah permukaan berbentuk kubus (3D) dilihat dari berbagai sisi



Hasil inversi *software Res3Dinv* diperoleh kedalaman maksimal 48,0 m dengan panjang lintasan x (sumbu x) adalah 50 m dan lintasan y (sumbu y) adalah 50 m. Nilai resistivitas bawah permukaan dalam penampang horisontal dan penampang vertikal yaitu antara 5,7 – 321  $\Omega$ m.

#### 4.2 Pembahasan

Dari proses inversi 3 dimensi dengan menggunakan *software Res3dinv* diperoleh hasil berupa penampang horisontal dan penampang vertikal bawah permukaan dengan nilai resistivitas berasosiasi dengan citra warna yang berbeda – beda bergantung besarnya nilai resistivitasnya yang ditunjukkan pada gambar 4.1, gambar 4.2 dan gambar 4.3. Pada gambar hasil inversi 3D menunjukkan masing-masing nilai resistivitas batuan yang dilihat dari citra warna penampang struktur lapisan bawah permukaan. Sebaran nilai resistivitas bawah permukaan ditunjukkan oleh citra warna pada hasil pengolahan data. Untuk mengetahui jenis-jenis lapisan tanah atau batuan yang terdapat di bawah permukaan pada daerah tersebut, digunakan tabel referensi Telford untuk mencocokkan nilai resistivitas yang didapatkan dengan jenis batuan yang ada dan pencitraan warna kontur hasil pengolahan data.

Gambar 4.1 kedalaman yang dapat digambarkan distribusi resistivitasnya yaitu kedalaman 0,00 sampai dengan kedalaman 48,0 m (pada posisi z), yang terdiri dari 8 sayatan dengan nilai resistivitas yang berkisar 5,7 – 321  $\Omega$ m. Dengan mengacu pada tabel referensi Telford, jenis lapisan tanah yang memiliki nilai resistivitas tersebut merupakan jenis lapisan tanah yang terdiri dari batuan andesit, aluvium, kerikil, batu pasir dan juga terdapat lempung. Hasil pencitraan penampang horisontal yang ditunjukkan pada sayatan pertama menunjukkan adanya pendugaan batuan situs megalitikum yang terpendam dan dilihat dari nilai resistivitasnya yaitu berkisar antara 101–321  $\Omega$ m diduga terdapat batuan andesit pada kedalaman 0,00 sampai 3,50 meter yang dicitrakan dengan warna merah. Hasil tersebut didukung adanya batuan situs megalitikum yang muncul di permukaan dan batuan andesit yang terdapat di bawah permukaan diduga merupakan terusan dari situs megalitikum yang

muncul di permukaan situs. Pada sayatan lain yaitu sayatan 2 terletak di sekitar titik (35-50) ditemukan kontur resistivitas warna merah yang diduga merupakan batuan andesit serta sedimen batuan beku lainnya, hal ini dikuatkan dengan nilai resistivitas batuan pada tabel referensi Telford. Selain itu, pada sayatan 3 juga ditemukan warna merah tepatnya terletak pada titik (45-50) namun hanya sedikit yang diduga merupakan bagian batuan andesit. Sedangkan pada sayatan ke 4 sampai dengan sayatan ke 8 terdapat kontur resistivitas dengan warna biru, biru muda, kuning dan hijau dengan nilai resistivitas antara 10,1–101  $\Omega m$  yang diduga aluvium, pasir dan lempung serta diduga pada kontur resistivitas warna biru merupakan akar dari vegetasi tanaman.

Nilai resistivitas pada gambar 4.2 dan 4.3 dari hasil inversi dengan program *Res3dinv* baik pada penampang horisontal dan penampang vertikal diperoleh antara 5,7  $\Omega m$  sampai dengan 321  $\Omega m$ . Pada penampang vertikal (bidang x-z) yang ditunjukkan pada gambar 4.2 terlihat bahwa adanya batuan andesit berada pada sayatan 2, 3, 6 hingga sayatan ke 10 dengan kedalaman yang berkisar antara 3 sampai 5 meter dari permukaan tanah (pada posisi z) yang dicitrakan dengan kontur resistivitas warna merah dengan nilai resistivitas berkisar 101–321  $\Omega m$ . Sedangkan pada penampang vertikal (bidang y-z) yang ditunjukkan pada gambar 4.3 terlihat bahwa adanya batuan andesit berada pada sayatan 5 hingga sayatan ke 10 dengan kedalaman berkisar antara 1 sampai 3 meter dari permukaan tanah (pada posisi z) yang dicitrakan dengan kontur resistivitas warna merah dengan nilai resistivitas berkisar 101–321  $\Omega m$ . Sama halnya dengan penampang horisontal, pada penampang vertikal ini juga terdapat adanya batuan andesit di bawah permukaan yang merupakan bagian dari batuan andesit yang muncul di permukaan. Pada gambar penampang vertikal (bidang x-z) dan (bidang y-z) ini yang lebih terlihat dominan dan menyebar di setiap titik pengukuran dengan nilai resistivitas 10,1 – 32,0  $\Omega m$  merupakan aluvium, lempung dan pasir yang ditunjukkan dengan warna biru, dan hijau.

Gambar 4.4 merupakan gabungan dari penampang horisontal dan vertikal. Dapat dilihat dengan jelas tiap lapisan bawah permukaan tanah yang memiliki kontur warna dengan berbagai jenis sebaran resistivitas. Distribusi resistivitas tersebut menunjukkan perbedaan jenis batuan atau tanah yang menyusunnya. Dari gambar tersebut, kondisi bawah permukaan dapat diamati seperti halnya mengamati suatu potongan lapisan bawah permukaan berbentuk kubus, sehingga dapat diamati dari berbagai sisi. Hal ini merupakan kelebihan dari metode geolistrik resistivitas 3D yang dapat memberikan pencitraan resistivitas yang lebih resolutif dalam menggambarkan kondisi bawah permukaan.

Pada gambar 4.4 dari permukaan kubus nampak bahwa adanya batuan megalitikum dengan tekstur batuan andesit yang dicitrakan dengan warna merah, hal ini didukung dengan adanya situs batuan megalitikum di permukaannya. Dari pencitraan distribusi resistivitas bawah permukaan situs megalitikum di sebelah selatan kubus didominasi dengan warna biru tua dan biru muda yang merupakan akar dari vegetasi tanaman, mengingat letak situs yang berada di tengah kebun pohon jabon. Hal tersebut diperkuat dengan melihat letak titik kontur biru yang hampir sama dengan jarak tanam pohon jabon di setiap lintasan. Pada bagian utara kubus yang dicitrakan dengan warna hijau, kuning dan orange merupakan jenis lapisan tanah yang tersusun dari batuan lempung, aluvium dan kerikil pasiran yang mempunyai nilai resistivitas  $32,0 - 101 \Omega\text{m}$  dan terdapat kontur resistivitas dengan warna jingga dan merah dengan nilai resistivitas  $101 \Omega\text{m} - 321 \Omega\text{m}$  yang diduga batuan andesit yang terdapat di bawah permukaan yang merupakan terusan dari situs megalitikum yang muncul di permukaan.

Situs megalitikum yang muncul di permukaan pada lokasi penelitian berupa batu kenong yang merupakan batu kenong andesit yang berbentuk silinder dan keberadaan batu kenong di situs Pakauman selalu berkelompok, kelompok yang terkecil berjumlah 3 buah batu kenong, dan kelompok terbesar terdiri 20 buah batu kenong. Batuan andesit merupakan batuan yang banyak digunakan pada bangunan-

bangunan megalitikum. Berdasarkan sifat yang dimilikinya batu andesit banyak digunakan dalam bangunan-bangunan megalitik, candi dan piramida serta perkakas perkakas dari zaman prasejarah banyak memakai material ini, misalnya: sarkofagus, punden berundak, lumpang batu, meja batu, arca dan lain sebagainya.

Hasil inversi data penelitian, nilai resistivitas yang diperoleh yaitu dari rentang  $5,7 \Omega\text{m} - 321 \Omega\text{m}$ . Tiap-tiap nilai resistivitas telah diwakili oleh kontur warna yang berbeda sehingga memudahkan untuk melihat distribusi resistivitas bawah permukaannya. Semua hasil gambar baik penampang horisontal dapat dilihat pada (gambar 4.1), vertikal bidang x-z (gambar 4.2) dan vertikal bidang y-z (gambar 4.3) maupun dalam bentuk kubus 3D (gambar 4.4) bahwa bagian yang didominasi warna biru dan biru muda merupakan akar dari vegetasi tanaman, hal ini didukung dengan letak daerah penelitian yang berada di tengah perkebunan jabon yang ditanam dengan jarak yang relatif sama pada lokasi penelitian. Kondisi geologi lokasi penelitian didominasi dengan tanah lempung dan pasir, hal ini tampak pada pencitraan di setiap sayatan yang ditunjukkan dengan warna hijau serta kuning. Batuan situs megalitikum yang merupakan batuan andesit yang terdapat di bawah permukaan diduga merupakan terusan dari situs megalitikum yang muncul di permukaan ditunjukkan dengan warna merah dengan nilai resistivitas berkisar antara  $101 \Omega\text{m} - 321 \Omega\text{m}$ , nilai yang digunakan sebagai acuan yang ditunjukkan pada tabel Telford. Berdasarkan hasil tersebut dapat diketahui bahwa aplikasi metode geolistrik resistivitas dengan pencitraan 3D mampu menginterpretasikan resistivitas bawah permukaan secara 3D dengan hasil yang resolatif. Dengan demikian, pada lokasi tersebut diduga masih ada peninggalan situs batuan megalitikum yang masih terpendam.

## **BAB 5. PENUTUP**

### **5.1 Kesimpulan**

Berdasarkan analisa terhadap data yang diperoleh serta pembahasan yang telah dilakukan, maka dapat disimpulkan sebagai berikut :

1. Pada penampang horisontal didapatkan adanya batuan andesit pada kedalaman 0,00 sampai 3,50 meter dengan nilai resistivitas 101–321  $\Omega\text{m}$  sayatan pertama, kedua dan ketiga
2. Hasil citra 3D bawah permukaan yang berbentuk kubus didapatkan kontur resistivitas batuan andesit dengan warna merah pada bagian permukaan sesuai dengan sayatan pertama pada penampang horisontal dengan nilai resistivitas berkisar 101–321  $\Omega\text{m}$
3. Berdasarkan hasil tersebut dapat diketahui bahwa aplikasi metode geolistrik resistivitas dengan pencitraan 3D mampu menginterpretasikan resistivitas bawah permukaan secara 3D dengan hasil yang resolatif.

### **5.2 Saran**

Saran yang dapat penulis sampaikan dalam penelitian ini adalah lebih teliti dalam melakukan pengolahan data karena sangat berpengaruh terhadap hasil pencitraan 3D dan diperlukan perhatian khusus terutama dalam peletakan elektroda arus  $C_2$  dan elektroda potensial  $P_2$  yaitu dengan jarak 10 - 20 kali spasi terjauh.

## DAFTAR PUSTAKA

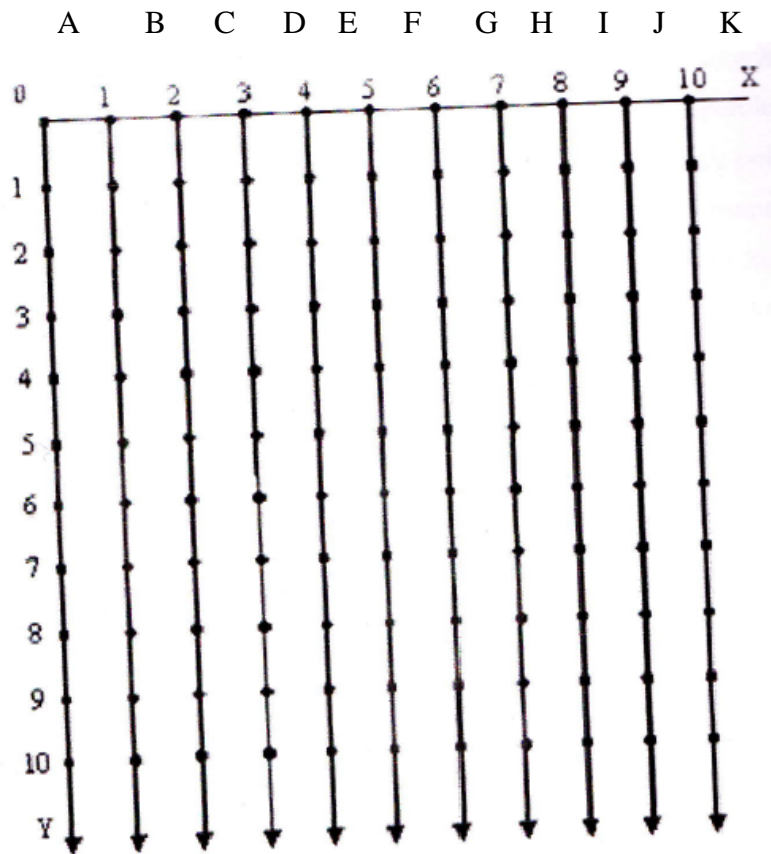
- Anggraeni, F. 2004. *Aplikasi Metode Geolistrik Resistivity untuk Mendeteksi Air Tanah*. Jember: Universitas Jember.
- Bappeda. 2009. *Profil Kabupaten Bondowoso Tahun 2008*. Bondowoso: Badan Perencanaan Pembangunan Daerah (Bappeda) Bondowoso.
- Bowles, J. E. 1989. *Sifat-sifat Fisis dan Geoteknis Tanah (Mekanika Tanah)*. Jakarta : Erlangga.
- Budi, Santoso, P. 1987. *Panduan Mengenal Batuan Bekuan*. Bandung: Direktorat Geologi, Direktorat Jenderal Pertambangan Umum.
- Dahlin, T. dan Bernstone, C. 1997. *A roll-along technique for 3D resistivity data acquisition with multi-electrode arrays, Procs. SAGEEP'97 (Symposium on the Application of Geophysics to Engineering and Environmental Problems)*. Reno, Nevada.
- Endarto, D. 2005. *Pengantar Geologi Dasar*. Surakarta: LPP UNS UPT Penerbitan dan UNS Press.
- Hendrajaya, L. dan Arif, I. 1990. *Geolistrik Tahanan Jenis, Monografi: Metode Eksplorasi*. Bandung: Laboratorium Fisika Bumi, ITB.
- Hiden dan Syamsudin. 2003. Identifikasi Sebaran Lapisan Batubara dengan Metode Resistivitas Pole-pole 3D. *Gravitasi Wahana Interaksi Ilmiah* Vol 2 No. 1.
- Husni, A. 2010. *Laporan Keterangan Pertanggungjawaban Bupati Bondowoso*. Bondowoso: Pemerintah Kabupaten Bondowoso.
- Indrawati, T. 2010. *Pemanfaatan Situs Megalitikum Pakauman di Desa Pakauman Kecamatan Grujugan Kabupaten Bondowoso Sebagai Media Pembelajaran Sejarah*. Tidak Diterbitkan. Skripsi. Jember: Jurusan Pendidikan Ilmu Sosial FKIP Universitas Jember.
- Geotomo Software. 2010. *Res3dinv ver 3.59*. Malaysia: Geotomo Software.
- Jain, R. L. 2007. *Study Eksplorasi Lapisan Batubara dengan Menggunakan Resistivitas Geolistrik 3D Konfigurasi Pole-pole*. Tidak Diterbitkan. Skripsi. Jember: Jurusan Fisika FMIPA Universitas Jember.

- Kalmiawan, P., Sismanto, A. & Suparwoto. 2000. *Survey of resistivity method to investigate the Krakal Hot Spring in Desa Krakal, Kec. Alian, Kab. Kabumen, Prop. Jawa Tengah*. Bandung: Prosiding PIT HAGI ke-25.
- Loke, M.H. 1995. *Least Squares Deconvolution of Apprent Resistivity Pseudosection*. Geophysics, Vol 60, No.6, pp 1682-1690. Malaysia.
- Loke, M.H. 1999. *Electrical Imaging Surveys For Environmental And Engineering Studies. A Practical Guide to 2-D and 3-D Surveys*. Malaysia. Penang.
- Mashoed. 2004. *Sejarah dan Budaya Bondowoso*. Surabaya: Papyrus.
- Mulyadi, D. 1997. *Pengembangan Situs Pedaringan di Kecamatan Grujungan*. Tidak Dipublikasikan. Laporan Penelitian. Jember: Lembaga Penelitian Universitas Jember.
- Poesponegoro, M. D. dan Notosusanto, N. 2008. *Sejarah Nasional Indonesia Edisi 1*. PT (Persero) Penerbitan dan Percetakan Balai Pustaka.
- Pranita, V. 2010. *Penerapan Metode Geolistrik 3D Konfigurasi Pole-Pole Pada Daerah Potensial Mineral (Studi Kasus di Dusun Baban Timur, Kecamatan Silo, Jember)*. Skripsi (tidak dipublikasikan). Jember: Jurusan Fisika FMIPA Universitas Jember.
- Prasetyo, B. 1999. *Megalitik di Situbondo dan Pengaruh Hindu di Jawa Timur. Berkala Arkeologi Tahun XIX Edisi No. 2/November*. Yogyakarta. Balai Arkeologi Yogyakarta.
- Prasanti, E. 1998. *Penyebaran Peninggalan Prasejarah di Kabupaten Bondowoso*. Proyek Pembinaan Permuseuman Jawa Timur.
- Prayogo, S. 2003. *Survei Resistivitas 3-D untuk Menentukan Tahanan Jenis Tanah Bawah Permukaan Daerah Rawan Longsor Di Desa Lumbang Rejo, Prigen, Jawa Timur*. Skripsi. ITS Surabaya.
- Reynolds, J.M. 1997. *An Introduction to Applied and Enviromental Geophysics*. England : John Wiley and Sons Ltd, Baffins, ChisChester, West Sussex PO19 IUD.
- Santoso. 2002. *Pengantar Teknik Geofisika*. Bandung: ITB.
- Siyamah, H. 2010. *Penentuan Resisitivitas Akuifer Tanah*. PKM-Gagasan Tertulis. Malang: Universitas Negeri Malang.

- Sumarno. 1989. *Peninggalan Budaya Batu Besar di Pakauman Kecamatan Grujugan Kabupaten Bondowoso*. Jember: Universitas Jember.
- Sumarti, N. 1981. *Kamus Istilah Arkeologi*. Jakarta: Penerbit Bhratara Karya Aksara.
- Suparwoto, Marjiono, dan Sismanto. 1997. *Pendugaan Keberadaan Batu Candi di Situs Purbakala Candi Kedulan dari Pola Anomali Medan Magnet Total*. Yogyakarta: Universitas Gadjah Mada.
- Telford, W.M., Geldart, L.P., and Sheriff, R.E. 1990. *Applied Geophysics Second Edition*. Cambridge University Press, New York.
- Tim Asisten Geofisika. 2004. *Metode Resistivitas, Modul Praktikum*. Surabaya: Jurusan Fisika FMIPA. ITS.



**LAMPIRAN A**  
**URUTAN PENGAMBILAN DATA RESISTIVITAS 3D**



Keterangan:

- |                 |                  |
|-----------------|------------------|
| 1) Pengukuran A | 9) Pengukuran I  |
| 2) Pengukuran B | 10) Pengukuran J |
| 3) Pengukuran C | 11) Pengukuran K |
| 4) Pengukuran D |                  |
| 5) Pengukuran E |                  |
| 6) Pengukuran F |                  |
| 7) Pengukuran G |                  |
| 8) Pengukuran H |                  |

**LAMPIRAN B**  
**TABEL DATA RESITIVITAS SEMU**  
**DARI SURVEI RESISTIVITAS 3D**

**Waktu** : Bulan Agustus sampai dengan September 2012  
**Lokasi** : Desa Pakauman, Kecamatan Grujungan, Kabupaten Bondowoso  
**Konfigurasi** : *Pole-pole*  
**Spasi elektroda** : 5 m  
**Panjang lintasan** : 50 m  
**Jarak antar lintasan** : 5 m

Tabel B.1 Data Hasil Perhitungan Pengukuran A

NO	PENGUKURAN	C1		P1		R ( $\Omega$ )	$\rho$ ( $\Omega$ m)
		X (m)	Y (m)	X (m)	Y (m)		
1	A0	0	0	0	5	1,20	37,77
2		0	0	0	10	0,80	24,96
3		0	0	0	15	0,74	23,36
4		0	0	0	20	0,58	18,06
5		0	0	0	25	0,53	16,74
6		0	0	0	30	0,53	16,61
7		0	0	0	35	0,70	22,01
8		0	0	0	40	0,50	15,73
9		0	0	0	45	0,50	15,73
10		0	0	0	50	0,50	15,67
11	A1	0	5	0	10	1,61	50,52
12		0	5	0	15	0,69	21,73
13		0	5	0	20	0,63	19,69
14		0	5	0	25	0,58	18,18
15		0	5	0	30	0,52	16,33
16		0	5	0	35	0,52	16,45
17		0	5	0	40	0,50	15,67
18		0	5	0	45	0,50	15,61

19		0	5	0	50	0,49	15,35
20	A2	0	10	0	15	1,12	35,20
21		0	10	0	20	0,75	23,52
22		0	10	0	25	0,63	19,81
23		0	10	0	30	0,56	17,62
24		0	10	0	35	1,01	31,84
25		0	10	0	40	0,50	15,67
26		0	10	0	45	0,53	16,64
27		0	10	0	50	0,52	16,17
28	A3	0	15	0	20	1,16	36,33
29		0	15	0	25	0,77	24,21
30		0	15	0	30	0,62	19,41
31		0	15	0	35	1,08	33,91
32		0	15	0	40	0,57	17,87
33		0	15	0	45	0,50	15,70
34		0	15	0	50	0,52	16,17
35		A4	0	20	0	25	1,20
36	0		20	0	30	0,78	24,37
37	0		20	0	35	0,66	20,66
38	0		20	0	40	0,59	18,40
39	0		20	0	45	0,56	17,68
40	0		20	0	50	0,54	16,89
41	A5		0	25	0	30	1,17
42		0	25	0	35	1,78	55,80
43		0	25	0	40	0,62	19,56
44		0	25	0	45	0,59	18,46
45		0	25	0	50	0,55	17,11
46	A6	0	30	0	35	1,27	39,94
47		0	30	90	40	0,81	25,47
48		0	30	0	45	0,65	20,25
49		0	30	0	50	0,76	23,71
50	A7	0	35	0	40	1,18	37,15
51		0	35	0	45	0,80	25,18
52		0	35	0	50	0,67	20,91
53	A8	0	40	0	45	1,24	38,87
54		0	40	0	50	0,79	24,68
55	A9	0	45	0	50	1,17	36,71

Tabel B.2 Data Hasil Perhitungan Pengukuran B

NO	PENGUKURAN	C1		P1		R ( $\Omega$ )	$\rho$ ( $\Omega\text{m}$ )
		X (m)	Y (m)	X (m)	Y (m)		
1	B0	5	0	5	5	1,18	37,15
2		5	0	5	10	1,42	44,49
3		5	0	5	15	0,62	19,50
4		5	0	5	20	0,56	17,58
5		5	0	5	25	0,54	16,89
6		5	0	5	30	0,52	16,23
7		5	0	5	35	0,51	16,11
8		5	0	5	40	0,61	19,09
9		5	0	5	45	0,50	15,61
10		5	0	5	50	0,50	15,70
11	B1	5	5	5	10	1,33	41,64
12		5	5	5	15	0,74	23,17
13		5	5	5	20	0,64	20,06
14		5	5	5	25	0,57	17,93
15		5	5	5	30	0,55	17,14
16		5	5	5	35	0,51	15,86
17		5	5	5	40	0,45	14,04
18		5	5	5	45	0,49	15,45
19		5	5	5	50	0,49	15,45
20	B2	5	10	5	15	1,16	36,27
21		5	10	5	20	0,79	24,84
22		5	10	5	25	0,64	20,22
23		5	10	5	30	0,60	18,81
24		5	10	5	35	0,53	16,77
25		5	10	5	40	0,51	15,92
26		5	10	5	45	0,52	16,17
27		5	10	5	50	0,50	15,83
28	B3	5	15	5	20	1,87	58,72
29		5	15	5	25	0,77	24,05
30		5	15	5	30	0,54	16,80
31		5	15	5	35	0,57	17,93
32		5	15	5	40	0,61	19,25
33		5	15	5	45	0,53	16,61
34		5	15	5	50	0,54	16,80

35	B4	5	20	5	25	1,22	38,25
36		5	20	5	30	0,78	24,49
37		5	20	5	35	0,66	20,66
38		5	20	5	40	0,61	19,25
39		5	20	5	45	0,55	17,27
40		5	20	5	50	0,54	17,08
41	B5	5	25	5	30	1,20	37,62
42		5	25	5	35	0,79	24,65
43		5	25	5	40	0,63	19,91
44		5	25	5	45	0,58	18,15
45		5	25	5	50	0,55	17,27
46	B6	5	30	5	35	1,23	38,65
47		5	30	5	40	0,88	27,60
48		5	30	5	45	0,66	20,66
49		5	30	5	50	0,58	18,21
50	B7	5	35	5	40	1,18	36,90
51		5	35	5	45	0,80	25,15
52		5	35	5	50	0,66	20,60
53	B8	5	40	5	45	1,24	38,97
54		5	40	5	50	0,79	24,65
55	B9	5	45	5	50	1,18	37,18

Tabel B.3 Data Hasil Perhitungan Pengukuran C

NO	PENGUKURAN	C1		P1		R ( $\Omega$ )	$\rho$ ( $\Omega$ m)
		X (m)	Y (m)	X (m)	Y (m)		
1	C0	10	0	10	5	1,18	37,08
2		10	0	10	10	0,79	24,68
3		10	0	10	15	0,63	19,69
4		10	0	10	20	0,57	17,93
5		10	0	10	25	0,56	17,65
6		10	0	10	30	0,51	15,86
7		10	0	10	35	0,53	16,61
8		10	0	10	40	0,53	16,70
9		10	0	10	45	0,52	16,23
10		10	0	10	50	0,42	13,22
11	C1	10	5	10	10	1,09	34,13
12		10	5	10	15	0,73	23,02
13		10	5	10	20	0,62	19,53
14		10	5	10	25	0,58	18,27
15		10	5	10	30	0,52	16,39
16		10	5	10	35	0,54	16,92
17		10	5	10	40	0,53	16,49
18		10	5	10	45	0,13	4,1
19		10	5	10	50	0,53	16,61
20	C2	10	10	10	15	1,17	36,71
21		10	10	10	20	0,77	24,27
22		10	10	10	25	0,62	19,53
23		10	10	10	30	0,58	18,27
24		10	10	10	35	0,53	16,70
25		10	10	10	40	0,52	16,17
26		10	10	10	45	0,49	15,48
27		10	10	10	50	0,53	16,49
28	C3	10	15	10	20	1,18	37,15
29		10	15	10	25	0,78	24,37
30		10	15	10	35	0,70	22,04
31		10	15	10	40	0,59	18,49
32		10	15	10	80	0,56	17,55
33		10	15	10	45	0,53	16,64
34		10	15	10	50	0,52	16,39

35	C4	10	20	10	25	1,18	37,15
36		10	20	10	30	0,81	25,28
37		10	20	10	35	0,66	20,79
38		10	20	10	40	0,59	18,59
39		10	20	10	45	0,56	17,49
40		10	20	10	50	0,54	16,99
41	C5	10	25	10	30	1,23	38,72
42		10	25	10	35	0,81	25,53
43		10	25	10	40	0,61	19,03
44		10	25	10	45	0,61	19,03
45		10	25	10	50	0,60	18,81
46	C6	10	30	10	35	1,21	37,96
47		10	30	10	40	0,80	25,12
48		10	30	10	45	0,67	21,13
49		10	30	10	50	0,63	19,66
50	C7	10	35	10	40	1,12	35,23
51		10	35	10	45	0,81	25,31
52		10	35	10	50	0,66	20,76
53	C8	10	40	10	45	1,20	37,55
54		10	40	10	50	0,79	24,87
55	C9	10	45	10	50	1,18	37,05

Tabel B.4 Data Hasil Perhitungan Pengukuran D

NO	PENGUKURAN	C1		P1		R ( $\Omega$ )	$\rho$ ( $\Omega\text{m}$ )
		X (m)	Y (m)	X (m)	Y (m)		
1	D0	15	0	15	5	1,02	31,90
2		15	0	15	10	0,71	22,26
3		15	0	15	15	0,60	18,78
4		15	0	15	20	0,56	17,65
5		15	0	15	25	0,51	15,95
6		15	0	15	30	0,20	6,5
7		15	0	15	35	0,17	5,4
8		15	0	15	40	0,51	15,92
9		15	0	15	45	0,42	13,03
10		15	0	15	50	0,47	14,70
11	D1	15	5	15	10	1,07	33,50
12		15	5	15	15	0,73	22,77
13		15	5	15	20	0,61	19,25
14		15	5	15	25	0,55	17,33
15		15	5	15	30	0,53	16,64
16		15	5	15	35	1,07	33,69
17		15	5	15	40	0,50	15,73
18		15	5	15	45	0,49	15,39
19		15	5	15	50	0,50	15,67
20	D2	15	10	15	15	1,10	34,54
21		15	10	15	20	0,75	23,64
22		15	10	15	25	0,63	19,63
23		15	10	15	30	0,52	16,45
24		15	10	15	35	0,91	28,51
25		15	10	15	40	0,52	16,39
26		15	10	15	45	0,50	15,70
27		15	10	15	50	0,49	15,45
28	D3	15	15	15	20	1,19	37,49
29		15	15	15	25	0,77	24,24
30		15	15	15	35	0,65	20,41
31		15	15	15	40	1,39	43,65
32		15	15	15	80	0,54	17,08
33		15	15	15	45	0,51	16,14
34		15	15	15	50	0,52	16,30



35	D4	15	20	15	25	1,19	37,27
36		15	20	15	30	0,76	23,99
37		15	20	15	35	0,99	31,12
38		15	20	15	40	0,58	18,31
39		15	20	15	45	0,55	17,24
40		15	20	15	50	0,52	16,27
41	D5	15	25	15	30	1,22	38,40
42		15	25	15	35	1,09	34,32
43		15	25	15	40	0,66	20,66
44		15	25	15	45	0,58	18,18
45		15	25	15	50	0,56	17,58
46	D6	15	30	15	35	1,70	53,22
47		15	30	15	40	0,80	25,21
48		15	30	15	45	0,65	20,41
49		15	30	15	50	0,59	18,43
50	D7	15	35	15	40	0,68	21,26
51		15	35	15	45	0,80	24,99
52		15	35	15	50	1,22	38,43
53	D8	15	40	15	45	1,14	35,86
54		15	40	15	50	0,78	24,49
55	D9	15	45	15	50	1,18	37,15

Tabel B.5 Data Hasil Perhitungan Pengukuran E

NO	PENGUKURAN	C1		P1		R ( $\Omega$ )	$\rho$ ( $\Omega\text{m}$ )
		X (m)	Y (m)	X (m)	Y (m)		
1	E0	20	0	20	5	1,47	46,03
2		20	0	20	10	0,82	25,62
3		20	0	20	15	0,63	19,81
4		20	0	20	20	0,47	14,70
5		20	0	20	25	0,58	18,34
6		20	0	20	30	0,50	15,76
7		20	0	20	35	0,48	15,20
8		20	0	20	40	0,83	26,16
9		20	0	20	45	1,33	41,64
10		20	0	20	50	1,41	44,15
11	E1	20	5	20	10	1,19	37,43
12		20	5	20	15	0,80	25,15
13		20	5	20	20	0,63	19,88
14		20	5	20	25	0,63	19,75
15		20	5	20	30	0,55	17,36
16		20	5	20	35	0,52	16,20
17		20	5	20	40	0,80	25,25
18		20	5	20	45	1,59	49,83
19		20	5	20	50	0,80	25,03
20	E2	20	10	20	15	1,28	40,29
21		20	10	20	20	0,78	24,46
22		20	10	20	25	0,70	21,95
23		20	10	20	30	0,57	17,96
24		20	10	20	35	0,55	17,11
25		20	10	20	40	1,56	49,05
26		20	10	20	45	0,34	10,61
27		20	10	20	50	1,79	56,21
28	E3	20	15	20	20	1,23	38,53
29		20	15	20	25	0,86	27,04
30		20	15	20	30	0,66	20,66
31		20	15	20	35	0,57	17,93
32		20	15	20	40	0,55	17,36
33		20	15	20	45	0,53	16,64
34		20	15	20	50	0,52	16,39

35	E4	20	20	20	25	1,29	40,38
36		20	20	20	30	1,52	47,82
37		20	20	20	35	0,68	21,48
38		20	20	20	40	0,51	16,08
39		20	20	20	45	1,77	55,67
40		20	20	20	50	0,55	17,21
41	E5	20	25	20	30	1,25	39,28
42		20	25	20	35	0,82	25,81
43		20	25	20	40	1,16	36,27
44		20	25	20	45	1,38	43,46
45		20	25	20	50	1,09	34,26
46	E6	20	30	20	35	1,11	34,95
47		20	30	20	40	0,07	2,20
48		20	30	20	45	0,15	4,80
49		20	30	20	50	0,78	24,49
50	E7	20	35	20	40	1,22	38,25
51		20	35	20	45	0,41	12,72
52		20	35	20	50	0,36	11,30
53	E8	20	40	20	45	1,52	47,82
54		20	40	20	50	0,79	24,81
55	E9	20	45	20	50	1,72	53,85

Tabel B.6 Data Hasil Perhitungan Pengukuran F

NO	PENGUKURAN	C1		P1		R ( $\Omega$ )	$\rho$ ( $\Omega$ m)
		X (m)	Y (m)	X (m)	Y (m)		
1	F0	25	5	25	5	1,11	34,79
2		25	10	25	10	0,75	23,58
3		25	15	25	15	0,68	21,48
4		25	20	25	20	0,55	17,24
5		25	25	25	25	0,54	16,99
6		25	30	25	30	0,49	15,32
7		25	35	25	35	0,44	13,75
8		25	40	25	40	0,48	15,13
9		25	45	25	45	0,44	13,85
10		25	50	25	50	0,48	14,92
11	F1	25	10	25	10	1,21	37,93
12		25	15	25	15	0,83	25,91
13		25	20	25	20	0,64	20,00
14		25	25	25	25	0,61	19,22
15		25	30	25	30	0,55	17,18
16		25	35	25	35	0,52	16,23
17		25	40	25	40	0,56	17,49
18		25	45	25	45	0,53	16,64
19		25	50	25	50	0,48	15,10
20	F2	25	15	25	15	1,20	37,65
21		25	20	25	20	0,80	25,06
22		25	25	25	25	0,77	24,15
23		25	30	25	30	0,59	18,37
24		25	35	25	35	0,55	17,36
25		25	40	25	40	0,53	16,74
26		25	45	25	45	0,52	16,20
27		25	50	25	50	0,48	15,13
28	F3	25	20	25	20	1,22	38,40
29		25	25	25	25	0,81	25,53
30		25	30	25	30	0,65	20,54
31		25	35	25	35	0,58	18,12
32		25	40	25	40	0,60	18,78
33		25	45	25	45	0,49	15,51
34		25	50	25	50	0,51	16,08

35	F4	25	25	25	25	1,27	39,72
36		25	30	25	30	0,83	26,19
37		25	35	25	35	0,67	21,10
38		25	40	25	40	0,61	19,09
39		25	45	25	45	0,55	17,40
40		25	50	25	50	0,53	16,55
41	F5	25	30	25	30	1,26	39,53
42		25	35	25	35	1,21	37,84
43		25	40	25	40	0,81	25,50
44		25	45	25	45	0,62	19,59
45		25	50	25	50	0,56	17,49
46	F6	25	35	25	35	1,24	38,97
47		25	40	25	40	0,83	26,12
48		25	45	25	45	0,68	21,32
49		25	50	25	50	0,59	18,56
50	F7	25	40	25	40	1,23	38,53
51		25	45	25	45	0,87	27,19
52		25	50	25	50	0,69	21,73
53	F8	25	45	25	45	1,30	40,79
54		25	50	25	50	0,83	25,97
55	F9	25	50	25	50	1,27	39,85

Tabel B.7 Data Hasil Perhitungan Pengukuran G

NO	PENGUKURAN	C1		P1		R ( $\Omega$ )	$\rho$ ( $\Omega\text{m}$ )
		X (m)	Y (m)	X (m)	Y (m)		
1	G0	30	0	30	5	1,12	35,01
2		30	0	30	10	0,66	20,57
3		30	0	30	15	0,63	19,72
4		30	0	30	20	0,56	17,49
5		30	0	30	25	0,53	16,55
6		30	0	30	30	0,50	15,79
7		30	0	30	35	0,54	16,83
8		30	0	30	40	0,48	15,07
9		30	0	30	45	0,47	14,70
10		30	0	30	50	0,47	14,63
11	G1	30	5	30	10	1,01	31,56
12		30	5	30	15	0,74	23,24
13		30	5	30	20	0,61	19,28
14		30	5	30	25	0,56	17,49
15		30	5	30	30	0,53	16,70
16		30	5	30	35	0,40	12,56
17		30	5	30	40	0,49	15,29
18		30	5	30	45	0,49	15,35
19		30	5	30	50	0,47	14,60
20	G2	30	10	30	15	1,07	33,57
21		30	10	30	20	0,73	22,80
22		30	10	30	25	0,64	20,00
23		30	10	30	30	0,56	17,46
24		30	10	30	35	0,54	16,99
25		30	10	30	40	0,60	18,78
26		30	10	30	45	0,48	14,98
27		30	10	30	50	0,44	13,94
28	G3	30	15	30	20	1,03	32,22
29		30	15	30	25	0,72	22,67
30		30	15	30	30	0,61	19,00
31		30	15	30	35	0,39	12,34
32		30	15	30	40	0,52	16,30
33		30	15	30	45	0,50	15,76
34		30	15	30	50	0,43	13,41

35	G4	30	20	30	25	1,04	32,62
36		30	20	30	30	0,71	22,20
37		30	20	30	35	0,64	20,13
38		30	20	30	40	0,54	16,83
39		30	20	30	45	0,45	14,10
40		30	20	30	50	0,47	14,82
41	G5	30	25	30	30	1,01	31,78
42		30	25	30	35	0,72	22,51
43		30	25	30	40	0,60	18,71
44		30	25	30	45	0,54	17,02
45		30	25	30	50	0,48	15,01
46	G6	30	30	30	35	1,06	33,38
47		30	30	30	40	0,71	22,29
48		30	30	30	45	0,58	18,15
49		30	30	30	50	0,49	15,35
50	G7	30	35	30	40	0,70	22,07
51		30	35	30	45	0,70	21,92
52		30	35	30	50	0,52	16,36
53	G8	30	40	30	45	1,12	35,26
54		30	40	30	50	0,67	20,94
55	G9	30	45	30	50	0,969	30,43

Tabel B.8 Data Hasil Perhitungan Pengukuran H

NO	PENGUKURAN	C1		P1		R ( $\Omega$ )	$\rho$ ( $\Omega$ m)
		X (m)	Y (m)	X (m)	Y (m)		
1	H0	35	0	35	5	1,52	47,70
2		35	0	35	10	0,93	29,05
3		35	0	35	15	0,56	17,49
4		35	0	35	20	0,83	25,91
5		35	0	35	25	0,73	22,95
6		35	0	35	30	0,50	15,79
7		35	0	35	35	0,48	15,17
8		35	0	35	40	0,50	15,70
9		35	0	35	45	0,48	14,95
10		35	0	35	50	0,54	16,80
11	H1	35	5	35	10	1,61	50,46
12		35	5	35	15	0,74	23,30
13		35	5	35	20	0,68	21,23
14		35	5	35	25	0,57	17,87
15		35	5	35	30	0,50	15,61
16		35	5	35	35	0,52	16,33
17		35	5	35	40	0,61	19,06
18		35	5	35	45	0,46	14,41
19		35	5	35	50	0,49	15,39
20	H2	35	10	35	15	1,54	48,36
21		35	10	35	20	1,39	43,58
22		35	10	35	25	0,71	22,26
23		35	10	35	30	0,60	18,97
24		35	10	35	35	0,59	18,40
25		35	10	35	40	0,53	16,58
26		35	10	35	45	0,54	17,08
27		35	10	35	50	0,50	15,73
28	H3	35	15	35	20	1,30	40,79
29		35	15	35	25	0,72	22,51
30		35	15	35	30	0,68	21,41
31		35	15	35	35	0,61	19,00
32		35	15	35	40	0,55	17,30
33		35	15	35	45	0,54	17,02
34		35	15	35	50	0,52	16,45



35	H4	35	20	35	25	1,17	36,68
36		35	20	35	30	0,82	25,72
37		35	20	35	35	0,69	21,67
38		35	20	35	40	0,64	20,16
39		35	20	35	45	0,63	19,63
40		35	20	35	50	0,60	18,81
41	H5	35	25	35	30	1,14	35,86
42		35	25	35	35	0,72	22,45
43		35	25	35	40	0,65	20,54
44		35	25	35	45	0,61	19,06
45		35	25	35	50	0,53	16,70
46	H6	35	30	35	35	1,71	53,57
47		35	30	35	40	0,75	23,42
48		35	30	35	45	0,61	19,09
49		35	30	35	50	0,55	17,40
50	H7	35	35	35	40	1,07	33,47
51		35	35	35	45	0,79	24,87
52		35	35	35	50	0,63	19,66
53	H8	35	40	35	45	0,81	25,40
54		35	40	35	50	1,26	39,47
55	H9	35	45	35	50	1,15	36,11

Tabel B.9 Data Hasil Perhitungan Pengukuran I

NO	PENGUKURAN	C1		P1		R ( $\Omega$ )	$\rho$ ( $\Omega$ m)
		X (m)	Y (m)	X (m)	Y (m)		
1	I0	40	0	40	5	1,21	37,87
2		40	0	40	10	0,78	24,62
3		40	0	40	15	0,45	13,97
4		40	0	40	20	0,59	18,62
5		40	0	40	25	0,55	17,18
6		40	0	40	30	0,53	16,64
7		40	0	40	35	0,53	16,77
8		40	0	40	40	0,49	15,45
9		40	0	40	45	0,54	16,86
10		40	0	40	50	0,49	15,26
11	I1	40	5	40	10	1,21	37,99
12		40	5	40	15	1,16	36,42
13		40	5	40	20	0,79	24,93
14		40	5	40	25	0,64	20,00
15		40	5	40	30	0,58	18,24
16		40	5	40	35	0,60	18,87
17		40	5	40	40	0,52	16,23
18		40	5	40	45	0,51	15,98
19		40	5	40	50	0,48	15,10
20	I2	40	10	40	15	0,78	24,37
21		40	10	40	20	0,64	20,03
22		40	10	40	25	0,62	19,53
23		40	10	40	30	0,62	19,50
24		40	10	40	35	0,57	17,84
25		40	10	40	40	0,54	16,92
26		40	10	40	45	0,52	16,33
27		40	10	40	50	0,51	16,01
28	I3	40	15	40	20	1,19	37,37
29		40	15	40	25	0,58	18,06
30		40	15	40	30	0,83	26,06
31		40	15	40	35	0,66	20,66
32		40	15	40	40	0,62	19,44
33		40	15	40	45	0,58	18,06
34		40	15	40	50	0,52	16,36

35	I4	40	20	40	25	1,20	37,59
36		40	20	40	30	0,83	26,06
37		40	20	40	35	0,74	23,36
38		40	20	40	40	0,60	18,78
39		40	20	40	45	0,55	17,21
40		40	20	40	50	0,60	18,97
41	I5	40	25	40	30	1,08	33,91
42		40	25	40	35	1,19	37,37
43		40	25	40	40	0,78	24,55
44		40	25	40	45	0,68	21,45
45		40	25	40	50	0,59	18,40
46	I6	40	30	40	35	1,21	37,87
47		40	30	40	40	0,80	25,21
48		40	30	40	45	0,65	20,47
49		40	30	40	50	0,59	18,65
50	I7	40	35	40	40	1,20	37,81
51		40	35	40	45	0,82	25,72
52		40	35	40	50	0,65	20,47
53	I8	40	40	40	45	0,78	24,49
54		40	40	40	50	0,90	28,10
55	I9	40	45	40	50	1,21	37,99

Tabel B.10 Data Hasil Perhitungan Pengukuran J

NO	PENGUKURAN	C1		P1		R ( $\Omega$ )	$\rho$ ( $\Omega\text{m}$ )
		X (m)	Y (m)	X (m)	Y (m)		
1	J0	45	0	45	5	1,60	50,33
2		45	0	45	10	0,85	26,72
3		45	0	45	15	0,70	22,07
4		45	0	45	20	0,53	16,58
5		45	0	45	25	0,55	17,27
6		45	0	45	30	0,50	15,57
7		45	0	45	35	0,54	17,08
8		45	0	45	40	1,33	41,64
9		45	0	45	45	1,08	34,04
10		45	0	45	50	0,51	15,92
11	J1	45	5	45	10	1,21	37,90
12		45	5	45	15	0,79	24,84
13		45	5	45	20	0,64	20,13
14		45	5	45	25	0,59	18,59
15		45	5	45	30	0,54	16,99
16		45	5	45	35	0,54	17,08
17		45	5	45	40	1,42	44,56
18		45	5	45	45	0,92	29,01
19		45	5	45	50	0,49	15,39
20	J2	45	10	45	15	1,31	41,26
21		45	10	45	20	0,81	25,28
22		45	10	45	25	0,68	21,35
23		45	10	45	30	0,53	16,64
24		45	10	45	35	0,54	16,89
25		45	10	45	40	0,70	22,11
26		45	10	45	45	0,73	22,89
27		45	10	45	50	0,52	16,17
28	J3	45	15	45	20	1,23	38,47
29		45	15	45	25	0,80	24,96
30		45	15	45	30	0,64	20,03
31		45	15	45	35	0,58	18,21
32		45	15	45	40	1,47	46,16
33		45	15	45	45	1,22	38,28
34		45	15	45	50	0,52	16,23

35	J4	45	20	45	25	1,27	39,82
36		45	20	45	30	0,77	24,02
37		45	20	45	35	0,64	20,03
38		45	20	45	40	1,10	34,63
39		45	20	45	45	0,00	0,3
40		45	20	45	50	0,54	16,99
41	J5	45	25	45	30	1,17	36,86
42		45	25	45	35	0,79	24,65
43		45	25	45	40	0,90	28,29
44		45	25	45	45	1,83	57,43
45		45	25	45	50	0,56	17,43
46	J6	45	30	45	35	1,17	36,86
47		45	30	45	40	1,09	34,26
48		45	30	45	45	3,15	99,00
49		45	30	45	50	0,59	18,65
50	J7	45	35	45	40	3,91	122,68
51		45	35	45	45	1,04	32,62
52		45	35	45	50	0,68	21,23
53	J8	45	40	45	45	3,89	122,05
54		45	40	45	50	0,83	25,94
55	J9	45	45	45	50	1,201	37,71

Tabel B.11 Data Hasil Perhitungan Pengukuran K

NO	PENGUKURAN	C1		P1		R ( $\Omega$ )	$\rho$ ( $\Omega$ m)
		X (m)	Y (m)	X (m)	Y (m)		
1	K0	50	0	50	5	1,28	40,13
2		50	0	50	10	0,81	25,40
3		50	0	50	15	0,70	21,98
4		50	0	50	20	0,90	28,17
5		50	0	50	25	0,49	15,39
6		50	0	50	30	0,54	16,89
7		50	0	50	35	1,33	41,70
8		50	0	50	40	0,51	16,08
9		50	0	50	45	0,47	14,70
10		50	0	50	50	0,58	18,06
11	K1	50	5	50	10	1,22	38,40
12		50	5	50	15	0,94	29,55
13		50	5	50	20	0,85	26,72
14		50	5	50	25	0,60	18,93
15		50	5	50	30	0,59	18,53
16		50	5	50	35	0,71	22,36
17		50	5	50	40	0,60	18,97
18		50	5	50	45	0,56	17,46
19		50	5	50	50	0,52	16,36
20	K2	50	10	50	15	1,48	46,38
21		50	10	50	20	1,21	37,96
22		50	10	50	25	0,69	21,67
23		50	10	50	30	0,61	19,28
24		50	10	50	35	2,56	80,38
25		50	10	50	40	0,67	20,91
26		50	10	50	45	0,60	18,97
27		50	10	50	50	0,69	21,76
28	K3	50	15	50	20	1,66	52,09
29		50	15	50	25	0,83	25,94
30		50	15	50	30	0,66	20,69
31		50	15	50	35	1,54	48,36
32		50	15	50	40	0,69	21,73
33		50	15	50	45	0,63	19,81
34		50	15	50	50	0,97	30,43

35	K4	50	20	50	25	1,20	37,52
36		50	20	50	30	0,80	24,96
37		50	20	50	35	1,39	43,71
38		50	20	50	40	0,77	24,08
39		50	20	50	45	0,77	24,24
40		50	20	50	50	1,66	52,06
41	K5	50	25	50	30	1,23	38,47
42		50	25	50	35	4,35	13,43
43		50	25	50	40	0,74	23,27
44		50	25	50	45	0,56	17,58
45		50	25	50	50	1,01	31,65
46	K6	50	30	50	35	1,67	52,50
47		50	30	50	40	0,94	29,48
48		50	30	50	45	0,71	22,14
49		50	30	50	50	1,91	59,85
50	K7	50	35	50	40	2,90	90,97
51		50	35	50	45	1,13	35,36
52		50	35	50	50	1,20	37,52
53	K8	50	40	50	45	1,26	39,63
54		50	40	50	50	2,02	63,52
55	K9	50	45	50	50	2,342	73,54