



TESIS SF142502

***APLIKASI METODE RESISTIVITAS KONFIGURASI  
WENNER* UNTUK MENAFSIRKAN PENYEBARAN  
BATUAN SITUS PURBAKALA CANDI GAMBAR  
WETAN KABUPATEN BLITAR**

Agussalim  
NRP 1112201018

DOSEN PEMBIMBING  
Dr. rer.nat. Eko Minarto, M.Si

PROGRAM MAGISTER  
BIDANG KEAHLIAN FISIKA BUMI  
JURUSAN FISIKA  
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER  
SURABAYA  
2015



THESIS SF142502

**APPLICATION OF RESISTIVITY METHOD  
WENNERCONFIGURATION FOR INTERPRETING  
THE SPREAD OF ROCK ARCHAEOLOGICAL  
SITES GAMBAR WETAN TEMPLE DISTRICT  
BLITAR**

Agussalim  
NRP 1112201018

ADVISOR  
Dr. rer.nat. Eko Minarto, M.Si

MAGISTER PROGRAM  
STUDY OF EARTH SCIENCE  
DEPARTMENT OF PHYSICS  
FACULTY OF MATHEMATICS AND NATURAL SCIENCES  
SEPULUH NOPEMBER INSTITUTE OF TECHNOLOGY  
SURABAYA  
2015



THESIS SF142502

**APPLICATION OF RESISTIVITY METHOD  
WENNERCONFIGURATION FOR INTERPRETING  
THE SPREAD OF ROCK ARCHAEOLOGICAL  
SITES GAMBAR WETAN TEMPLE DISTRICT  
BLITAR**

Agussalim  
NRP 1112201018

ADVISOR  
Dr. rer.nat. Eko Minarto, M.Si

MAGISTER PROGRAM  
STUDY OF EARTH SCIENCE  
DEPARTMENT OF PHYSICS  
FACULTY OF MATHEMATICS AND NATURAL SCIENCES  
SEPULUH NOPEMBER INSTITUTE OF TECHNOLOGY  
SURABAYA  
2015

**LEMBAR PENGESAHAN TESIS**

**Tesis ini disusun untuk memenuhi salah satu syarat memperoleh gelar  
Magister Sains (M.Si.)**

**di**

**Institut Teknologi Sepuluh Nopember**

**oleh:**

**Agussalim**

**NRP. 1112201018**

**Tanggal Ujian  
Periode Wisuda**

**: 19 Januari 2015  
: Maret 2015**

**Disetujui oleh:**

**1. Dr. rer.nat. Eko Minarto, M.Si  
NIP.19750205 199903 1 004**

  
**(Pembimbing)**

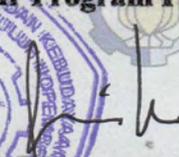
**2. Prof. Dr. rer.nat. Bagus Jaya Santosa, SU  
NIP. 19620802 198701 1 001**

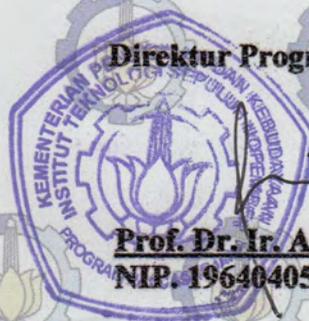
  
**(Penguji)**

**3. Dr. Melania Suweni Muntini, MT  
NIP. 19641229 199002 2 001**

  
**(Penguji)**

**Direktur Program Pascasarjana,**

  
**Prof. Dr. Ir. Adi Soeprijanto, MT**  
NIP. 19640405 199002 1 001



***APLIKASI METODE RESISTIVITAS KONFIGURASI WENNER UNTUK  
MENAFSIRKAN PENYEBARAN BATUAN SITUS PURBAKALA CANDI  
GAMBAR WETAN KABUPATEN BLITAR***

**Nama : Agussalim**  
**NRP : 1112201018**  
**Pembimbing : Dr. rer.nat. Eko Minarto, M.Si**

**ABSTRAK**

Penelitian ini untuk mengetahui struktur bawah permukaan di sekitar wilayah candi Gambar Wetan dengan menggunakan metode Resistivitas. Metode Geolistrik merupakan salah satu metode geofisika yang memanfaatkan sifat kelistrikan (electricity) dari lapisan batuan dan mineral bumi yang dapat dideteksi di dalam dan permukaannya. Salah satu jenis metode dari geolistrik adalah metode geolistrik tahanan jenis. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui penyebaran dan kedalaman batuan penyusun candi pada situs candi Gambar Wetan serta sebagai sumber informasi bagi usaha penemuan benda-benda purbakala yang terpendam dalam tanah. Nilai resistivitas yang digunakan untuk menentukan batuan penyusun candi adalah nilai resistivitas batuan andesit. Untuk pengolahan data digunakan software RES2DINV versi 3.4 untuk menampilkan model inversi data. Hasil inversi didapatkan nilai resistivitas yang sangat tinggi pada situs Candi Gambar Wetan yaitu anomali resistivitas yang sangat besar pada lintasan 3 yang memiliki kisaran resistivitas 10.805-160.000  $\Omega$ m sebagai batuan andesit diduga bagian batuan penyusun candi yang terkubur akibat erupsi gunung Kelud. Nilai resistivitas anomali yang sangat rendah dibandingkan dari kelima lintasan berada pada lintasan 5 yang memiliki kisaran resistivitas 1.779 sampai 7.000  $\Omega$ m sebagai batuan andesit. Penyebaran batuan candi dengan dimensi yang cukup besar terdapat pada arah lintasan ke-5 arah ke timur halaman candi Gambar Wetan yang diinterpretasikan sebagai bagian lokasi penyusun bangunan candi utama.

**Kata Kunci:** *geolistrik tahanan jenis, konfigurasi wenner, res2div.*

**APPLICATION OF RESISTIVITY METHOD WENNER CONFIGURATION  
FOR INTERPRETING THE SPREAD OF ROCK ARCHAEOLOGICAL SITES  
GAMBAR WETAN TEMPLE DISTRICT BLITAR**

**By : Agussalim**  
**Student Identity Number : 1112201018**  
**Supervisor : Dr. rer.nat. Eko Minarto, M.Si**

**ABSTRACTS**

This study is to determine the subsurface structure around the temple area Wetan Fig using resistivity method. Resistivity method is one of the geophysical method that utilizes the electrical properties (electricity) of layers of rocks and minerals of the earth that can be detected in surface. One type of geoelectric method is a method of geoelectric resistivity. This study aims to determine the spread and depth of rock appointing up the temple on the site of the temple Figure Wetan and as an information source for archaeological discovery of ancient objects buried in the ground. Resistivity values are used to determine the constituent rock temple is the resistivity value andesite. Data processing used RES2DINV software version 3.4 to display the data inversion models. Resistivity inversion results obtained are very high value on the site temple Wetan fig isvery large resistivity anomaly big on track 3 which has a resistivity range 10.805-160.000  $\Omega\text{m}$  as andesite rock constituent allegedly part of the temple buried by the eruption of Mount Kelud. Anomalous resistivity value is very low compared to the five tracks are on track 5 which has a range of 1.779 to 7.000  $\Omega\text{m}$  resistivity as andesite. Spreading rock temple with a large dimension are on the path toward the 5th page of the temple toward the east to Wetan Pictures interpreted as a constituent part of the location of the main temple building.

**Kata Kunci:** *geolistrik resistivity, wenner configuration, res2div.*

## KATA PENGANTAR

Saya bersyukur kepada Allah SWT atas segala limpahan rahmat dan hidayah-Nya. Sembah sujud hanya milik Allah SWT Tuhan semesta alam yang menggenggam jiwa-jiwa manusia yang lemah dan menentukan setiap detil takdir kehidupan, sehingga dengan kekuatannya itulah sehingga Tesis ini mampu terselesaikan dengan segala keterbatasannya. Salam dan Shalawat senantiasa tercurahkan kepada seorang insan paripurna yang menjadi Nabi dan Rasul terakhir yang di utus oleh Allah SWT sebagai *Akhlakul Karima* yang patut diteladani oleh seluruh umat.

Tesis ini merupakan akumulasi semangat perjuangan dan kreativitas yang telah didapatkan selama berada di bangku perkuliahan, sehingga terciptalah sebuah gagasan untuk menyelesaikan Tesis penelitian yang juga merupakan syarat mutlak seorang mahasiswa (S2) dalam meraih gelar Master Sains (M.Si) di PPs Jurusan Fisika FMIPA ITS. Tesis ini berjudul “ **Aplikasi Metode Resistivitas Konfigurasi Wenner Untuk Menafsirkan Penyebaran Batuan Candi Gambar Wetan Kabupaten Blitar**”, meskipun masih jauh dari kesempurnaan. Dengan ketulusan hati, penulis ingin menyampaikan terima kasih kepada semua pihak yang berperan dalam penyusunan Tesis ini, yaitu:

1. Kedua orang tua ayahanda **M. Rusming, S.Pd** dan Ibunda **Nursiah**, serta saudara kakak semata wayang **Nikhmawati, S.Pd** atas perhatian, kasih sayang dan dukungan moral serta materil yang diberikan.
2. Semua keluarga atas segala perhatian, dukungan, semangat, dan do'anya sehingga tesis ini dapat terselesaikan.
3. Bapak **Dr. rer.nat. Eko Minarto, M.Si**, selaku dosen pembimbing yang senantiasa memberikan arahan, motivasi serta bimbingan wawasan pengetahuan sehingga tesis ini dapat terselesaikan.
4. Bapak **Prof. Dr. rer.nat. Bagus Jaya Santosa, SU** dan Ibu **Dr. Melania Suweni Muntini, M.T**, selaku dosen penguji atas kritik, saran, serta masukannya yang membangun.
5. Bapak **Dr. Yono Hadi Pramono, M.Eng**, selaku Ketua Jurusan Fisika FMIPA ITS Surabaya.
6. Bapak **Prof. Dr. Eddy Yahya, M.Sc**, selaku Ketua Program Studi Program Pascasarjana Fisika FMIPA ITS.
7. Segenap Staf Pengajar dan Karyawan di Jurusan Fisika yang tidak dapat saya sebutkan satu per satu.

8. Keluarga besar Laboratorium Geofisika ITS, sebagai wadah intelektual dan menimba pengalaman hidup berharga bagi penulis.
9. Teman-teman seperjuangan S2 bidang keahlian Geofisika.
10. Kepada Mas Kiswanto, Mas Sungkono Aj, S.Si.,M.Si , Mas Juan Pandu, S.Si.,MT, Mas Alwi Husein, S.Si, M.Si, Mas Totok Wijayanto, S.Si.,M.Si, Mas Humaidillah Wardana,S.Pd.,M.Si, Mas Fahruzi,ST.,M.Si, Mas Febri,S.Si, Mas Oko', S.Si, Mas Jordan, Mas Aris serta rekan-rekan lainnya di Lab. Geofisika ITS atas segala bantuan dan sarannya selama penelitian dan menempuh perkuliahan.
11. Saudara-saudaraku dari Makassar di perantauan, Nur Ichzan As, S.Si, M.Si, Muhammad Nur Alam,S.Si,M.Si, Adiatma Rasyid, S.Pd,M.Si, Muhammad Erwinto Imran, S.Pd, M.Pd, Agustan Alwi,S.Pd, Alamsyah Ahmad, ST,.MT, kanda Hermansyah,ST,.MT, kanda Mamat,ST,.MT, Bagus Prasetyo, ST,.MT, adinda M. Noer Fajar, Hadjar Aswad serta semua rekan yang tidak bisa saya sebutkan satu persatu. Terima kasih atas rasa persaudaraan dan solidaritasnya.
12. Rekan-rekan seperjuangan di kost R6, Perumdos ITS.
13. Rekan-rekan seperjuangan di Asrama Bawakaraeng Ikami Sulsel Cabang Surabaya.
14. Semua pihak yang tidak dapat saya sebutkan satu persatu, yang telah membantu dalam penelitian dan penyusunan Tesis ini.
15. Terkhusus kepada adinda **St. Mutia Alfiyanti Muhiddin, S.Pd.,M.Pd** dan keluarga, yang selama ini sabar menemani serta memberi semangat, dukungan, kesetiaan, kebahagiaan, cinta dan kasih sayang tulus kepada penulis.

Penulis menyadari bahwa dalam penulisan tesis ini masih banyak kekurangan, sehingga sangat diharapkan saran dan masukan demi sempurnanya karya ini. Akhirnya hanya kepada Allah SWT, penulis memohon Ridha dan Magfirah-Nya, semoga karya ini dapat bermanfaat kepada para pembaca, Amin

Surabaya, Januari 2015

Penulis

## DAFTAR ISI

<b>Halaman Judul</b> .....	i
<b>Halaman Pengesahan</b> .....	ii
<b>Abstrak</b> .....	iii
<b>Abstracts</b> .....	iv
<b>Kata Pengantar</b> .....	v
<b>Daftar Isi</b> .....	vii
<b>Daftar Gambar</b> .....	ix
<b>Daftar Tabel</b> .....	x
<b>Daftar Lampiran</b> .....	xi
<b>BAB I PENDAHULUAN</b> .....	1
1.1 Latar Belakang Masalah.....	1
1.2 Perumusan Masalah.....	3
1.3 Tujuan Penelitian.....	4
1.4 Manfaat Penelitian.....	4
<b>BAB II KAJIAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI</b> .....	5
2.1 Tahapan Ekskavasi Arkeologi dan Kondisi Geologi Lokasi Penelitian....	5
2.2 Batuan Andesit.....	6
2.3 Sifat Kelistrikan Batuan.....	7
2.3.1 Potensial Listrik Batuan .....	7
2.3.2 Resistivitas Batuan.....	9
2.3.3 Konduktivitas Listrik Batuan.....	10
2.4 Potensial dalam Medium Homogen.....	12
2.4.1 Elektroda Arus Tunggal Dalam Sebuah Medium Homogen .....	13
2.4.2 Elektroda Arus Ganda Dalam Sebuah Medium Homogen.....	14
2.5 Metode Geolistrik.....	15
2.6 Konfigurasi Elektroda Wenner.....	19
2.7 Konsep Dasar Resistivitas Semu.....	19
2.8 Teori Inversi.....	20

<b>BAB III METODOLOGI PENELITIAN</b> .....	23
3.1 Kajian Literatur.....	24
3.2 Gambaran Umum Lokasi Penelitian.....	24
3.3 Peralatan Akusisi Data.....	26
3.4 Akusisi Data .....	26
3.4.1 Tahap Persiapan .....	27
3.4.2 Tahap Pengambilan Data .....	27
3.5 Pengolahan Data.....	28
3.6 Interpretasi Data .....	28
<b>BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN</b> .....	29
4.1 Hasil.....	29
4.2 Pembahasan.....	36
<b>BAB V PENUTUP</b> .....	41
5.1 Kesimpulan.....	41
5.2 Saran.....	41
<b>DAFTAR PUSTAKA</b> .....	43
<b>BIOGRAFI PENULIS</b> .....	45

## **DAFTAR TABEL**

Tabel 2.1 Variasi Resistivitas Beberapa Jenis Material.....	10
Tabel 3.1 Spesifikasi Lintasan Pengukuran Resistivitas Candi Gambar Wetan...	27

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Proses Ekskavasi Candi Gambar Wetang .....	6
Gambar 2.2 Pola Distribusi Potensial dan Arus yang Disebabkan Oleh Sumber Arus Ganda di Permukaan.....	14
Gambar 2.3 Bentuk Susunan Elektroda Arus Ganda di Permukaan Homogen....	14
Gambar 2.4 Berbagai Konfigurasi Resistivitas 2D, Nilai Konstanta Geometri.....	17
Gambar 2.5 Konfigurasi Elektroda Wenner.....	19
Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian.....	23
Gambar 3.2 Peta Topografi Kabupaten Blitar.....	24
Gambar 3.3 Lokasi Penelitian.....	25
Gambar 3.4 Spesifikasi Arah Lintasan Pengambilan Data.....	25
Gambar 3.5 Peralatan Resistivitymeter Tigree Campus .....	26
Gambar 4.1 Lokasi Pengukuran Pada Lintasan 1.....	29
Gambar 4.2 Kontur Resistivitas Model Inversi Pada Lintasan 1.....	30
Gambar 4.3 Lokasi Pengukuran Pada Lintasan 2.....	30
Gambar 4.4 Kontur Resistivitas Model Inversi Pada Lintasan 2.....	31
Gambar 4.5 Lokasi Pengukuran Pada Lintasan 3.....	31
Gambar 4.6 Kontur Resistivitas Model Inversi Pada Lintasan 3.....	32
Gambar 4.7 Lokasi Pengukuran Pada Lintasan 4.....	32
Gambar 4.8 Kontur Resistivitas Model Inversi Pada Lintasan 4.....	33
Gambar 4.9 Lokasi Pengukuran Pada Lintasan 5.....	33
Gambar 4.10 Kontur Resistivitas Model Inversi Pada Lintasan 5.....	34
Gambar 4.11 Pemetaan Lokasi Candi Gambar Wetan (MapSource).....	34
Gambar 4.12 Jarak Antara Candi Gambar Wetan dengan Gunung Kelud.....	35
Gambar 4.13 Kedalaman Dimensi Batuan Penyusun Candi Hasil Eskavasi.....	36

# **BAB I**

## **PENDAHULUAN**

### **1.1 Latar Belakang**

Negara republik Indonesia memiliki kekayaan kebudayaan berupa berbagai macam peninggalan sejarah. Candi sebagai bagian dari saksi sejarah kehidupan berbudaya serta kearifan di masa lalu banyak ditemukan pada daerah pulau Jawa dan Bali. Candi dapat berupa bangunan berbentuk gapura beratap dan tidak beratap. Bangunan bersejarah pada dasarnya mengandung nilai kultur dan religius. Sebagai contohnya yaitu candi Borobudur, Prambanan dan beberapa candi besar lainnya (Baskoro, 2007).

Pihak pemerintah dalam hal ini Balai Pelestarian Cagar Budaya serta para pihak akademisi yang berkecimpung dalam bidang tersebut melakukan berbagai macam usaha untuk menemukan situs candi. Candi-candi Hindu di Indonesia pada umumnya dibangun oleh para raja di masa hidupnya sebagai perwujudan leluhurnya seperti Dewa Wisnu, Dewa Brahma dan lainnya (Jayanti, 2012).

Usaha pelestarian dalam bentuk pemugaran tanpa membuang nilai-nilai historisnya seperti candi Borobudur, Plaosan, Prambanan dan sebagainya. Peninggalan sejarah berupa candi banyak yang sudah ditemukan dan direkonstruksi ulang. Terdapat banyak dari situs candi lainnya yang belum ditemukan. Secara garis besar masyarakat Indonesia mengenal istilah candi untuk jenis bangunan kuno termasuk reruntuhan di manapun letaknya (Soekmono, 1990).

Beberapa kasus penemuan situs candi didapatkan dalam keadaan yang sudah rusak seperti halnya sisa potongan berkeping-keping, sisa reruntuhan serta sebagian lainnya masih terpendam dalam tanah. Situs candi tersebut biasanya terpendam dalam tanah karena adanya berbagai faktor seperti tertimbun lahar akibat letusan gunung merapi dan atau gempa bumi (Baskoro, 2007).

Salah satu penemuan berupa candi yang berada di Jawa Timur adalah situs candi Gambar Wetan yang terletak di sebelah barat gunung Kelud,

Kecamatan Nglegok, Kabupaten Blitar, Jawa Timur. Candi tersebut ditemukan pertama kali tertimbun material letusan gunung Kelud. Letak candi saat ini persis di pinggir aliran lahar dan pertambangan pasir. Berdasarkan kronogram di salah satu arca, candi diperkirakan dibangun pada masa kerajaan Majapahit pada tahun 1360 atau 1438 Masehi. Menurut sejarah candi tersebut dibangun untuk menangkal bahaya letusan gunung Kelud secara religius-magis. Ini adalah candi pemujaan yang letaknya paling dekat dengan puncak gunung Kelud dengan jaraknya hanya sekitar 9 kilometer. (Tim BPCB Mojokerto, 2014).

Balai Pelestarian Peninggalan Purbakala Trowulan Mojokerto melakukan penggalian untuk memastikan indikasi yang dilakukan tim observasi sebelumnya sejak beberapa tahun lalu. Sebagai hasilnya didapatkan tiga bangunan candi ditemukan di kompleks candi Gambar Wetan. Dari penggalian sekitar satu meter saja sudah kelihatan bangunan utama candi yang diidentifikasi sebagai tempat pemujaan. Selanjutnya proses penggalian menemukan halaman tengah, sementara satu lagi yang ditemukan adalah tangga. Sedangkan saat ini tim masih mencari batas halaman kedua atau halaman tengah (Tim BPCB Mojokerto, 2014).

Proses penemuan situs-situs di berbagai lokasi candi Gambar Wetan, dapat dijadikan petunjuk adanya kemungkinan terdapat bangunan penyusun candi yang masih terpendam dalam tanah. Proses ekskavasi situs candi Gambar Wetan memiliki berbagai macam kendala dalam hal penggalian tanah di lokasi tersebut yang keras, kondisi tempat penelitian menyulitkan dalam penentuan kotak gali, sehingga sangat diperlukan adanya disiplin ilmu lain untuk memperkirakan sebaran batuan penyusun benda purbakala tersebut. Sebagian besar wilayah di sekitar candi Gambar Wetan material penimbunnya adalah endapan pasir dari aktifitas gunung Kelud sedangkan batuan penyusun untuk membangun candi adalah batuan beku andesit.

Upaya penyelamatan situs terlebih dahulu harus memperhatikan hal-hal penting terkait efektifitas dan efisiensi, kurangnya informasi tentang keberadaan penyebaran batuan penyusun candi yang terpendam di dalam tanah menjadi dasar penelitian ini perlu dilakukan. Salah satu peran ilmu geofisika adalah memperkirakan penyebaran benda purbakala yang masih terpendam. Oleh karena

itu perlu dilakukan pengukuran dengan metode pemetaan bawah permukaan di sekitar daerah yang diduga terdapat sisa bangunan candi agar proses penggalian dapat dilakukan tanpa menimbulkan kerusakan dan diperoleh hasil yang signifikan dan efisien.

Situs candi Gambar Wetan merupakan obyek yang diteliti menggunakan metode resistivitas. Dalam konteks ini metode geofisika tersebut dapat membantu mengetahui keberadaan dan sebaran batu candi yang masih terpendam didasarkan pada perbedaan sifat-sifat fisis batuan penyusun candi terhadap batuan pasir di sekitarnya. Pemanfaatan metode tersebut diharapkan dapat meningkatkan efektifitas dan efisiensi dalam upaya penggalian serta pemugaran suatu candi.

Aplikasi metode geolistrik tahanan jenis (resistivitas) telah sampai pada bidang arkeologi, pelacakan benda purbakala di lokasi penemuan menjadi lebih mudah dan efisien dengan metode resistivitas. Metode resistivitas adalah salah satu metode dalam geolistrik yang dapat digunakan untuk melacak keberadaan situs purbakala pada masa lampau sehingga dalam proses penggaliannya tidak diperlukan banyak biaya dan waktu. Metode ini menggambarkan perbedaan nilai resistivitas batuan target dengan lingkungannya.

Geofisika arkeologi melibatkan penggunaan resistivitas yang digunakan untuk menemukan slag besi dan tungku di Lejja, Nigeria yang terpendam dalam tanah sebagai bagian dari peninggalan arkeologi. Instrumen yang digunakan adalah konfigurasi elektroda Wenner, (Ugwu dan Ezema 2014). Penelitian terkait arkeologi tersebut menjadi landasan awal bagi penulis untuk mengaplikasikan metode tersebut dalam studi struktur bawah permukaan di wilayah candi Gambar Wetan.

## **1.2 Perumusan Masalah**

Berkaitan dengan permasalahan tersebut di atas, yaitu untuk mengotimalkan proses ekskavasi candi Gambar Wetan agar berjalan lebih efisien serta tidak menggunakan banyak waktu dan biaya, maka dalam penelitian ini dilakukan penggunaan metode geolistrik tahanan jenis konfigurasi Wenner yang diharapkan dapat memperoleh nilai resistivitas yang berkaitan dengan jenis dugaan bidang serta posisi batu penyusun candi dalam hal ini batuan andesit yang

terpendam di bawah permukaan. Selanjutnya menentukan pemodelan pola/kontur dari sebaran batuan penyusun candi yang masih terpendam.

### **1.3 Tujuan Penelitian**

Adapun tujuan penelitian ini, yaitu:

1. Memberikan dugaan bidang serta posisi batu penyusun candi yang terpendam dalam tanah berdasarkan hasil interpretasi pengukuran geolistrik tahanan jenis.
2. Mempelajari daerah situs Candi Gambar Wetan dan kondisi bawah permukaan yaitu menentukan pemodelan pola/kontur dari sebaran batuan penyusun candi yang masih terpendam.

### **1.4 Manfaat Penelitian**

Manfaat penelitian ini dilaksanakan, diharapkan dapat diperoleh pengetahuan yang memadai berkaitan dengan pokok permasalahan yaitu untuk pengoptimalan proses ekskavasi candi Gambar Wetan agar berjalan lebih efisien serta tidak menggunakan banyak waktu dan biaya. Selanjutnya mampu menunjang kemajuan ilmu pengetahuan terutama ilmu geofisika untuk mengkaji penyebaran dan pelacakan situs purbakala di daerah lainnya, sumber referensi bagi para peneliti yang ingin melanjutkan atau mengembangkan penelitian tersebut.

## **BAB II**

### **KAJIAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI**

#### **2.1 Tahapan Ekskavasi Arkeologi dan Kondisi Geologi Lokasi Penelitian**

Candi Gambar Wetan adalah suatu situs peninggalan purbakala berupa bangunan candi yang terletak pada 7 km sebelah utara candi Penataran Kabupaten Blitar. Candi ini terletak di sebelah selatan gunung Kelud dan menjadi aliran lahar yang menyebabkan sebagian dari keseluruhan situs candi Gambar Wetan ini masih tertutup oleh pasir dan tanah. Dampak erupsi gunung Kelud membawa material-material yang umumnya berupa endapan material pasir sebagai hasil vulkanik gunung api, sedangkan batu penyusun candi adalah batu andesit. Bagian areal dari candi ini yang terekskavasi dan masih utuh adalah berupa dua buah dwarapala yang terletak di pinggir tangga masuk candi ini. Menurut juru pelihara candi tersebut, sebenarnya candi Gambar Wetan ini menjadi tempat peristirahatan Raja Hayam Wuruk (masa kerajaan Majapahit) sebelum menuju candi Penataran. (Tim BPCB Mojokerto, 2014).

Tim ekskavasi Balai Pelestarian Cagar Budaya Mojokerto wilayah kerja provinsi Jawa Timur telah melaksanakan kegiatan ekskavasi tahap awal pada situs candi Gambar Wetan yaitu pada tahun 2012, tahap kedua dilaksanakan pada tanggal 6 sampai 12 Mei 2014. Pada penggalian tersebut sebanyak 18 kotak gali, dari 14 kotak galian pertama pada sisi barat situs, untuk sementara telah ditemukan bangunan berbentuk struktur anak tangga naik yang bagian kanan kirinya terdapat profil sudut bangunan, selain itu juga ditemukan arca dwarapala dari batu andesit dalam posisi roboh telungkup dengan posisi wajah di bawah. (Tim BPCB Mojokerto, 2014).



Gambar 2.1 Proses Ekskavasi Candi Gambar Wetan (Tim BPCB Mojokerto, 2014).

## 2.2 Batuan Andesit

Batuan beku atau batuan andesit adalah jenis batuan yang terbentuk dari magma yang mendingin dan mengeras, dengan atau tanpa proses kristalisasi, baik di bawah permukaan sebagai batuan plutonik maupun di atas permukaan sebagai batuan vulkanik. Magma ini dapat berasal dari batuan setengah cair maupun batuan yang sudah ada, baik di mantel ataupun kerak bumi. Magma didefinisikan sebagai cairan silikat kental yang pijar terbentuk secara alamiah, bertemperatur tinggi antara 1.500–25.000 derajat Celcius.

Pada magma tersebut terdapat beberapa bahan yang larut, bersifat *volatile* seperti air, *chlorine*, *fluorine*, *iron*, sulphur, dan lain-lain yang menjadi penyebab mobilitas magma. Selanjutnya bersifat *non-volatile* (non-gas) yang merupakan pembentuk mineral yang lazim dijumpai dalam batuan beku. Umumnya, proses pelelehan terjadi oleh salah satu dari proses-proses berikut: kenaikan temperatur, penurunan tekanan, atau perubahan komposisi. Lebih dari 700 tipe batuan beku telah berhasil dideskripsikan, sebagian besar terbentuk di bawah permukaan kerak bumi.

Batuan beku dibedakan menjadi 3, yaitu: batuan beku dalam, batuan beku tengah serta batuan beku luar seperti batu andesit, obsidian, dan basalt. Nilai resistivitas yang digunakan untuk menentukan batuan penyusun candi adalah nilai resistivitas batu andesit. Menurut (Telford dan Sheriff, 1990) nilai variasi resistivitas batuan andesit berada pada range  $1,7 \times 10^2 - 45 \times 10^4 \Omega m$ .

### **2.3 Sifat Kelistrikan Batuan**

Pada dasarnya batuan merupakan materi yang memiliki sifat-sifat kelistrikan. Batuan dan struktur pembentuknya mengandung mineral-mineral yang mengakibatkan batuan bersifat konduktif terhadap arus listrik. Sifat ini merupakan karakteristik dari batuan tersebut apabila dialirkan arus listrik ke dalamnya. Batuan padat memiliki resistivitas tinggi, sedangkan pasir karena mampu menyerap air, memiliki resistivitas rendah. Sifat listrik ini dapat berasal dari alam atau yang berasal dengan cara menginjeksikan arus listrik ke dalam permukaan bumi sehingga terjadi ketidakseimbangan muatan di dalamnya.

#### **2.3.1 Potensial Listrik Batuan**

Berkaitan dengan potensial kelistrikan batuan, tentunya membahas mengenai energi potensial. Jika terdapat suatu muatan  $q$  yang berada dalam medan listrik  $E$ , maka besarnya usaha yang dilakukan untuk memindahkan muatan  $q$  dari titik A ke B melewati lintasan I adalah sama dengan jumlah usaha yang diperlukan untuk memindahkan muatan  $q$  dari titik A ke Titik B melewati lintasan II. Energi potensial dari suatu benda adalah kemampuan benda tersebut melakukan kerja. (Hendrajaya dan Arif, 1990)

Proses elektrokimia maupun mekanik menyebabkan terbentuknya potensial listrik alam sebagai bagian dari potensial listrik batuan. Hal ini terjadi karena adanya pengaruh air tanah yang berfungsi sebagai faktor penyeimbang dari semua peristiwa di dalam permukaan bumi. Potensial listrik batuan ini dibagi menjadi 4 kelompok (Wahyono, 2004), yaitu:

##### **1. Potensial Mineralisasi**

Potensial mineralisasi terjadi apabila dua elektroda logam yang berbeda dimasukkan ke dalam larutan yang bersifat homogen. Proses tersebut

menimbulkan beda potensial pada kedua logam. Perbedaan tegangan muncul karena kedua logam tersebut menempati deret Volta yang berbeda, sehingga muncul beda tegangan diantara kedua logam. Beda tegangan ini disebut sebagai potensial kontak elektrolit serta memiliki nilai yang lebih besar daripada beda tegangan sumber-sumber yang lainnya. Pada daerah yang banyak mengandung mineral, potensial kontak elektrolit dan potensial elektrokimia sering timbul dan dapat diukur di permukaan mineral itu berada, sehingga dalam hal ini kedua proses timbulnya potensial ini disebut juga dengan potensial mineralisasi. Potensial mineralisasi bernilai kurang dari 100 mV dan memiliki harga yang paling besar bila dibandingkan dengan jenis potensial lainnya. Biasanya potensial ini timbul pada daerah yang mengandung banyak sulfida dan grafit. (Telford dan Sheriff, 1990).

Potensial mineralisasi berasal dari reaksi oksidasi-reduksi (*redoks*), yang sama dengan sel galvanik dalam elektrokimia. (Sato dan Money, 1960), mengajukan model klasik tentang mekanisme terbentuknya potensial mineralisasi. Proses ini menggambarkan sebuah deposit sulfida yang berada pada suatu *watertable* dengan reaksi-reaksi oksidasi di bagian atas *watertable* reaksi reduksi di bagian bawah. Bagian atas bagian bawah dari deposit sulfida ini seolah-olah seperti sel setengah galvanik, dengan bagian atas bersifat negatif bagian bawah positif. Dalam model ini, ion-ion berpindah melalui pori-pori batuan sekeliling jebakan bijih sulfida. Potensial listrik dapat ditimbulkan karena adanya suatu larutan yang mengalir melalui medium berpori dengan sifat kapilernya.

## 2. Potensial Elektrokinetik

Larutan yang memiliki resistivitas listrik dan viskositas yang bekerja pada kapiler atau medium yang berpori menyebabkan terbentuknya potensial elektrokinetik. Efek dari aliran ini dapat menjadi penyebab terjadinya anomali.

## 3. Potensial Difusi

Perbedaan variasi ion dalam larutan yang memiliki konsentrasi yang berbeda menyebabkan terbentuknya potensial difusi.

## 4. Potensial Nernst

Potensial Nernst terbentuk karena adanya beda potensial. Prosesnya berupa dua elektroda logam yang identik dimasukkan ke dalam larutan yang

homogen, maka tidak akan terjadi potensial antara kedua elektroda tersebut. Namun bila konsentrasi larutan itu diubah, maka akan timbul beda potensial antara kedua elektroda tersebut.

Secara umum karena adanya suatu larutan yang mengalir melalui medium berpori dengan sifat kapilernya pada daerah yang banyak mengandung sulfide, grafit dan magnetik menyebabkan terjadinya potensial listrik. Selanjutnya potensial listrik terjadi apabila elektroda dimasukan kedalam larutan homogen yang menyebabkan terjadinya ketidak seimbangan dan adanya dua larutan yang berbeda konsentrasinya sehingga ion-ion yang ada didalamnya bergerak untuk mencapai suatu keseimbangan.

### 2.3.2 Resistivitas Batuan

Suatu sifat materi batuan yang menghambat aliran listrik yang melaluinya menjadi dasar pengukuran nilai resistivitas batuan. Beberapa faktor seperti resistivitas larutan yang mengisi pori-pori batuan, jenis mineral penyusun batuan, porositas batuan dan derajat kejenuhan batuan mempengaruhi resistivitas batuan. Faktor banyak atau sedikitnya kandungan air dalam tanah turut berpengaruh terhadap nilai resistivitas tanah. Semakin banyak kandungan air dalam suatu medium maka nilai resistivitasnya juga akan semakin kecil.

Bahan yang memiliki resistivitas kurang dari  $10^{-8} \Omega\text{m}$  diklasifikasikan sebagai konduktor. Konduktor berisi banyak elektron bebas dengan mobilitas yang sangat tinggi. Isolator memiliki resistivitas lebih  $10^7 \Omega\text{m}$ , dicirikan oleh ikatan ionik sehingga elektron-elektron valensi tidak bebas bergerak. Serta diantara keduanya adalah bahan semikonduktor, jumlah elektron bebasnya lebih sedikit. Batuan dan mineral dapat dikelompokkan menjadi tiga berdasarkan nilai resistivitas listriknya, yaitu:

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

(Telford dan Sheriff, 1990)

Pada dasarnya meskipun air tanah bukan konduktor listrik yang baik, air tanah secara umum berisi campuran terlarut yang dapat menambah kemampuannya untuk menghantar listrik. Harga tahanan jenis batuan tergantung macam-macam materialnya, densitas, porositas, ukuran dan bentuk pori-pori batuan, kandungan air, kualitas dan suhu. Variasi resistivitas beberapa jenis material ditunjukkan sebagai berikut:

Tabel 2.1. Variasi Resistivitas Beberapa Jenis Material (Telford dan Sheriff, 1990).

Jenis Material	Resistivity ( $\Omega\text{m}$ )
Granit	200 – 100.000
Andesit	$1,7 \times 10^2 - 45 \times 10^4$
Basal	200 – 100.000
Gamping	500 – 10.000
Batu Pasir	200 – 8.000
Batu Tulis	20 – 2.000
Pasir	1 – 1.000
Lempung	1 – 100
Air Tanah	0,5 – 300
Air Asin	0,2
Magnetik	0,01 – 1.000
Kerikil Kering	600 – 10.000
Tanah Aluvial	10 -800
Kerikil	100 – 600

### 2.3.3 Konduktivitas Listrik Batuan

Menurut (Telford dan Sheriff, 1990), dalam batuan dan mineral proses aliran arus listrik dapat digolongkan menjadi tiga macam, yaitu konduksi secara elektronik, dielektrik, dan secara elektrolitik.

#### 1. Konduksi Secara Elektronik

Konduksi elektronik terjadi karena batuan atau mineral mempunyai banyak elektron bebas sehingga arus listrik dialirkan di dalamnya oleh elektron-elektron bebas tersebut. Banyaknya elektron bebas menjadikan jenis konduksi ini merupakan bentuk normal dari aliran dalam batuan logam. Sifat atau karakteristik masing-masing batuan yang dilewatinya juga mempengaruhi aliran listrik. Salah satu sifat batuan tersebut adalah *resistivitas* (tahanan jenis).

Misalnya sebuah silinder konduktor dengan panjang  $L$ , luas penampang  $A$ , dan resistansi  $R$ , maka hal tersebut dapat dirumuskan:

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

Dari rumus di atas dinyatakan, R adalah resistansi ( $\Omega$ ), L adalah panjang silinder konduktor (m), A adalah luas penampang silinder konduktor ( $m^2$ ),  $\rho$  adalah resistivitas ( $\Omega m$ ), Menurut hukum Ohm, nilai resistansi R dirumuskan:

$$R = \frac{V}{I} \quad (2.2)$$

Pada bagian ini, R adalah resistansi ( $\Omega$ ), V adalah beda potensial (volt), I adalah kuat arus (Ampere). Selanjutnya dari kedua rumus persamaan (2.1) dan (2.2) tersebut didapatkan nilai resistivitas ( $\rho$ ) sebesar:

$$\rho = \frac{VA}{IL} \quad (2.3)$$

Kebalikan dari resistivitas ( $\rho$ ) adalah sifat konduktivitas batuan ( $\sigma$ ) mhos/m dinyatakan dengan:

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

Untuk hal ini  $J$  adalah rapat arus (ampere/ $m^2$ ),  $E$  adalah medan listrik (Volt/m). Persamaan-persamaan di atas menjadi acuan dalam pengukuran nilai resistivitas batuan di lokasi penelitian.

## 2. Konduksi Secara Dielektrik

Adanya pengaruh medan listrik dari luar, menyebabkan elektron-elektron tersebut terganggu kedudukannya sehingga elektron dalam bahan berpindah dan berkumpul terpisah dari inti sehingga menimbulkan polarisasi. Konduksi dielektrik terjadi pada batuan yang bersifat dielektrik. Batuan atau mineral tersebut mempunyai elektron bebas sedikit atau bahkan tidak sama sekali menyebabkan konduksi pada batuan bersifat dielektrik terhadap aliran listrik.

## 3. Konduksi secara elektrolitik

Arus listrik dapat mengalir karena adanya sifat elektrolit larutan yang mengisi pori-pori batuan. Konduksi elektrolitik dapat ditemukan pada batuan yang mempunyai sifat porositas tinggi. Batuan biasanya bersifat porus dan memiliki pori-pori yang terisi oleh fluida dalam hal ini air. Batuan-batuan tersebut menjadi konduktor elektrolitik, di mana konduksi arus listrik dibawa oleh ion-ion elektrolitik dalam air. Konduksi elektrolitik bersifat lambat bila dibandingkan konduksi elektronik. Konduktivitas akan semakin besar jika kandungan air dalam

batuan bertambah banyak, dan sebaliknya jika ditinjau nilai resistivitas akan semakin besar jika kandungan air dalam batuan berkurang. Sebagian besar batuan memiliki resistivitas yang sangat tinggi serta merupakan konduktor yang buruk.

#### 2.4 Potensial Dalam Medium Homogen

Menurut hukum Ohm (Telford, 1990), jika ada sebuah keadaan dalam bentuk medium homogen isotropis dialiri arus listrik dengan rapat arus  $\bar{J}$  dan kuat medan listrik  $\bar{E}$ , maka dapat dituliskan:

$$\bar{J} = \frac{1}{\rho} \bar{E} \quad (2.5)$$

dimana  $\bar{E}$  (Volt/m) dan  $\rho$  adalah resistivitas ( $\Omega$ ) medium. Medan listrik  $\bar{E}$  adalah sebuah bagian gradien dari potensial skalar sebagai berikut:

$$\bar{E} = -\bar{\nabla} V \quad (2.6)$$

setelah itu memasukkan persamaan (2.5) ke dalam persamaan di atas, didapatkan:

$$\bar{J} = -\frac{1}{\rho} \bar{\nabla} V \quad (2.7)$$

dalam keadaan tidak ada muatan sumber, maka:

$$\bar{\nabla} \cdot \bar{J} = 0 \quad (2.8)$$

$$\bar{\nabla} \cdot \bar{J} = -\bar{\nabla} \cdot \bar{\nabla} \left( \frac{1}{\rho} V \right) = 0 \quad (2.9)$$

dari persamaan di atas, dengan menggunakan teorema vektor, didapatkan:

$$\bar{\nabla} \cdot \frac{1}{\rho} \bar{\nabla} V + \frac{1}{\rho} \nabla^2 V = 0 \quad (2.10)$$

Didapatkan persamaan Laplace dalam bentuk potensial harmonik, disebabkan dari medium dianggap sebagai homogen isotropis, sehingga suku pertama sama dengan nol sebagai berikut (Telford dan Sheriff, 1990):

$$\nabla^2 V = 0 \quad (2.11)$$

Dalam hal ini tinjauan bumi dalam bentuk koordinat bola, sehingga operator Laplacian digambarkan dalam bentuk:

$$\nabla^2 V = \frac{1}{r^2} \frac{\partial}{\partial r} \left( r^2 \frac{\partial V}{\partial r} \right) + \frac{1}{r^2 \sin \theta} \frac{\partial}{\partial \theta} \left( \sin \theta \frac{\partial V}{\partial \theta} \right) + \frac{1}{r^2 \sin^2 \theta} \frac{\partial^2 V}{\partial \varphi^2} = 0 \quad (2.12)$$

Persamaan Laplace dapat disederhanakan karena sistem yang dianggap simetri sehingga potensial akan berupa fungsi dari  $r$  saja, dituliskan:

$$\nabla^2 V = \frac{d^2 V}{dr^2} + \frac{2}{r} \frac{dV}{dr} \quad (2.13)$$

persamaan (2.13) di atas selanjutnya dikalikan  $r^2$  kemudian diintegrasikan terhadap  $dr$ , sehingga diperoleh:

$$\frac{dV}{dr} = \frac{A}{r^2} \quad (2.14)$$

hasil di atas kemudian diintegrasikan kembali terhadap  $dr$ , sehingga bentuk persamaannya menjadi:

$$V = -\frac{A}{r} + B \quad (2.15)$$

dalam hal ini  $A$  dan  $B$  adalah sebuah konstanta.

#### 2.4.1 Elektroda Arus Tunggal Dalam Sebuah Permukaan Medium Homogen

Gambaran umumnya berupa elektroda arus diletakkan di atas permukaan bumi dengan menganggap udara bebas di atasnya mempunyai konduktivitas bernilai nol. Selanjutnya dengan menggunakan persamaan Laplace dalam koordinat bola yaitu pada (persamaan 2.12) untuk  $B$  bernilai sama dengan nol, pada bidang batas permukaan ( $z = 0$ ) didapatkan berlaku:

$$E_z = \frac{\partial V}{\partial z} \Big|_{z=0} = 0 \text{ (karena } \sigma_{\text{udara}} = 0) \quad (2.16)$$

Pada medium bawah permukaan, bagian selanjutnya yaitu arus total yang mengalir melalui permukaan setengah bola dituliskan:

$$I = 2\pi r^2 J = -2\pi r^2 \frac{1}{\rho} \frac{dV}{dr} \quad (2.17)$$

hal di atas juga dapat dituliskan dalam bentuk:

$$\frac{dV}{dr} = -\frac{\rho I}{2\pi r^2} \quad (2.18)$$

Merujuk pada persamaan (2.14) dan (2.18) didapatkan konstanta integrasi:

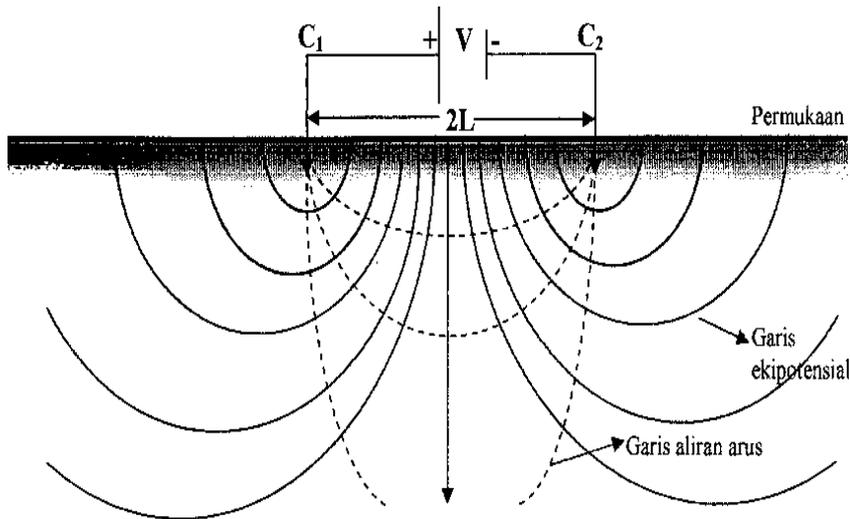
$$A = -\frac{I\rho}{2\pi} \quad (2.19)$$

selanjutnya pada tahap akhir didapatkan persamaan:

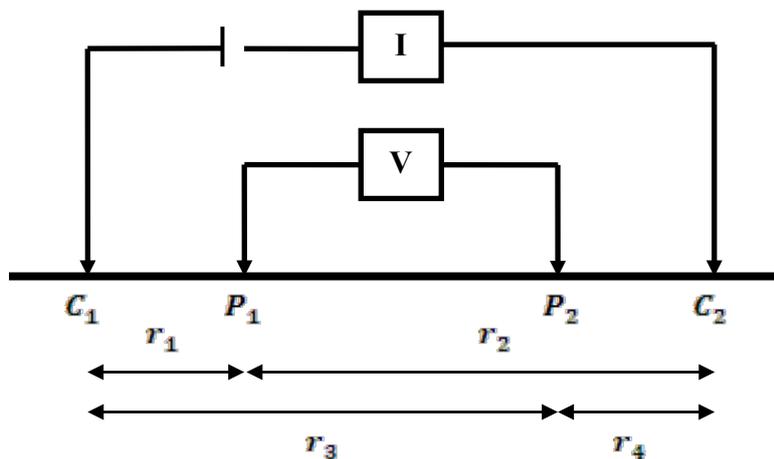
$$V = \frac{\rho I}{2\pi a} \quad (2.20)$$

### 2.4.2 Elektroda Arus Ganda Dalam Sebuah Permukaan Medium Homogen

Gambaran umum pada (Gambar 2.2) di bawah, sumber arus ganda di permukaan menyebabkan adanya garis ekuipotensial yang tegak lurus terhadap garis aliran arus. Pada (Gambar 2.3), arus listrik diinjeksikan melalui elektroda C1 dan C2, sedangkan beda potensial diukur pada elektroda potensial P1 dan P2.



Gambar 2.2 Pola Distribusi Potensial dan Arus yang Disebabkan Oleh Sumber Arus Ganda di Permukaan. (Telford dan Sheriff, 1990).



Gambar 2.3 Bentuk Susunan Elektroda Arus Ganda pada Permukaan Homogen (Telford dan Sheriff, 1990).

Pada permukaan medium homogen, persamaan potensial dalam elektroda arus ganda adalah:

$$V_{P1} = \frac{I\rho}{2\pi} \left( \frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} \right) \quad (2.21)$$

$$V_{P2} = \frac{I\rho}{2\pi} \left( \frac{1}{r_3} - \frac{1}{r_4} \right) \quad (2.22)$$

dari persamaan (2.21) dan (2.22) nilai beda potensial antara kedua elektroda dapat dituliskan:

$$\Delta V = V_{P1} - V_{P2} \quad (2.23)$$

$$\Delta V = \frac{I\rho}{2\pi} \left( \frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} - \frac{1}{r_3} + \frac{1}{r_4} \right) \quad (2.24)$$

Selanjutnya didapatkan persamaan untuk nilai resistivitas semu sebagai berikut:

$$\rho = K \frac{\Delta V}{I} \quad (2.25)$$

$K$  sebagai koreksi dalam pengolahan data adalah nilai faktor geometri yang besarnya tergantung dari jenis konfigurasi yang digunakan, dituliskan:

$$K = 2\pi \left( \frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} - \frac{1}{r_3} + \frac{1}{r_4} \right)^{-1} \quad (2.26)$$

## 2.5 Metode Geolistrik

Pemanfaatan sifat kelistrikan dan lapisan bumi dalam metode eksplorasi bidang geofisika yang berkembang saat ini dikenal sebagai metode geolistrik. Terdapat berbagai jenis metode geolistrik, di antaranya metode polarisasi imbas (*induced polarization, IP*), metode potensial diri (*self potential, sp*) dan metode geolistrik tahanan jenis (*resistivity*). Metode resistivitas sebagai nama lain dari metode geolistrik tahanan jenis adalah metode yang bersifat dinamik. Hal tersebut dikatakan demikian karena menggunakan gangguan aktif melalui media elektroda arus berupa injeksi arus yang dipancarkan ke bawah permukaan bumi. Selanjutnya beda nilai resistivitas material di bawah permukaan akan ditangkap oleh elektroda potensial.

Secara umum, metode resistivitas dapat dikategorikan menjadi dua bagian, yaitu metode resistivitas *mapping* dan *sounding*. Metode resistivitas *mapping* sebagai bagian dari metode resistivitas yang bertujuan untuk

mempelajari variasi tahanan jenis lapisan bawah permukaan secara horizontal. Oleh karena itu, pada metode ini digunakan konfigurasi elektroda yang sama untuk setiap titik pengamatan di permukaan bumi. Sementara metode resistivitas *sounding* digunakan untuk mempelajari variasi resistivitas batuan di bawah permukaan bumi secara vertikal.

Metode resistivitas memiliki kemampuan untuk membedakan material dalam bumi berdasarkan kemampuannya mengkonduksi arus listrik dan merupakan metode non-destruktif. Metode geolistrik juga baik untuk digunakan untuk investigasi dalam jangka waktu panjang karena hanya dipengaruhi sedikit faktor luar seperti hujan, dengan demikian proses pengukuran di lapangan dapat dilakukan untuk musim yang berbeda (Sjodahl dkk, 2006; Johansson dan Dahlin., 1996; Johansson, 1997).

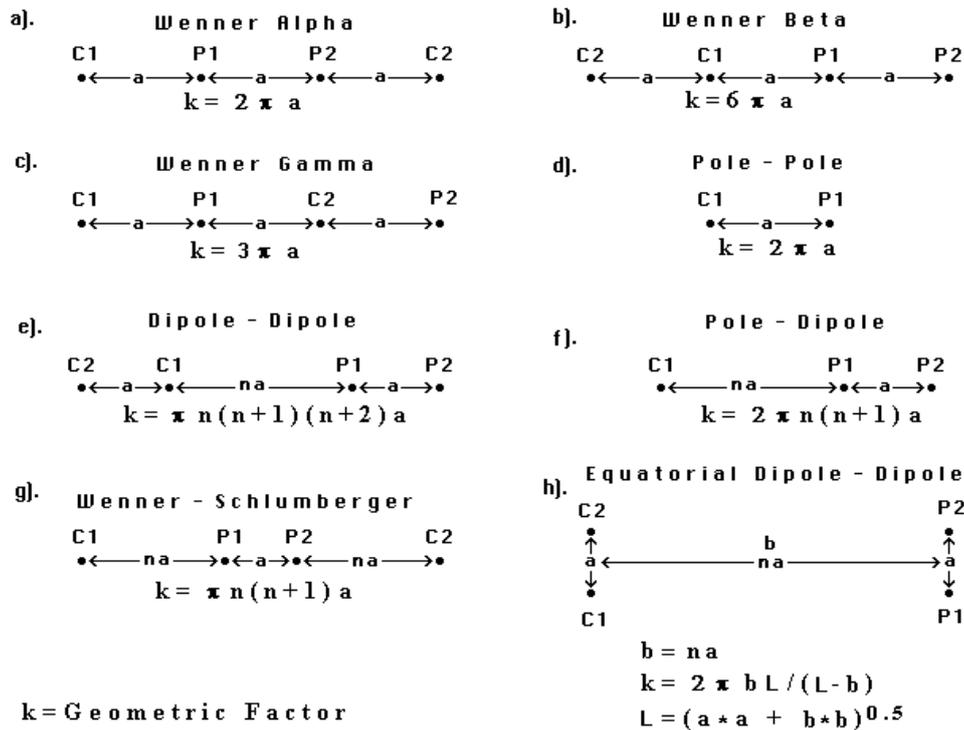
Pada penelitian ini digunakan teknik pengukuran mapping dengan tujuan untuk memperoleh informasi variasi resistivitas batuan penyusun candi secara lateral. Teknik pengukuran jenis mapping dikenal pula sebagai *constant separation traversing* (CST), *traversing* dan *profiling*. Variasi lateral resistivitas bawah permukaan digambarkan dari hasil plot resistivitas semu hasil inversi.

Pola pengamatan resistivitas 2D dapat disesuaikan dengan beberapa konfigurasi seperti Wenner, Wenner-Schlumberger, Pole-pole, Dipole-dipole, dan lain sebagainya dapat dilihat pada (Gambar 2.4). Konfigurasi Wenner berdasarkan susunan jarak antar elektrodanya sama merupakan salah satu konfigurasi yang sering digunakan dalam penelitian eksplorasi geolistrik (Samouelian dkk, 2005).

Pada konfigurasi Wenner elektroda-elektroda arus dan potensial diletakkan secara simetris terhadap titik sounding. Jarak antar elektroda arus tiga kali jarak antar elektroda potensial. Hal ini memberikan gambaran jika jarak masing-masing potensial terhadap titik sounding adalah  $a$ , maka jarak masing-masing elektroda arus terhadap titik sounding adalah  $3a$  dengan jarak spasi elektroda tersebut tidak berubah-ubah untuk setiap titik sounding yang diamati. Mengenai besarnya ukuran spasi, jika alat tersebut memiliki kemampuan sensitif dan menghasilkan besar arus, maka semakin besar pula parameter kedalaman yang didapatkan. Sistematika model pengukuran 2D dengan metode Wenner tergambar pada besarnya spasi, semakin besar spasi elektroda maka semakin

dalam pula lapisan yang terdeteksi. Pada tahanan jenis mapping, empat elektroda konfigurasi dengan spasi yang sama dipindahkan secara keseluruhan dengan jarak yang tetap sepanjang garis pengukuran. Pemilihan spasi terutama tergantung pada kedalaman lapisan yang diharapkan. Konfigurasi Wenner dapat mendeteksi ketidakhomogenan lokal dari lokasi yang diamati karena adanya sifat bahwa pembesaran jarak elektroda arus diikuti pula oleh pembesaran jarak elektroda potensial (Sharma, 1997).

Menurut (Burger, 2006) kelebihan konfigurasi Wenner adalah dengan lebar spasi elektroda potensial yang besar maka tidak memerlukan peralatan yang sensitif, sedangkan kekurangannya adalah semua elektroda harus dipindahkan untuk setiap pembacaan data resistivitas untuk mendapatkan sensitifitas yang lebih tinggi untuk daerah lokal dan variasi lateral dekat permukaan.



Gambar 2.4 Berbagai Jenis Konfigurasi Resistivitas 2D dan Nilai Konstanta Geometri(Loke, 2000).

Berbagai contoh aplikasi metode geofisika dalam bidang arkeologi yaitu, aplikasi canggih dari metode tahanan listrik dalam prospeksi arkeologi.

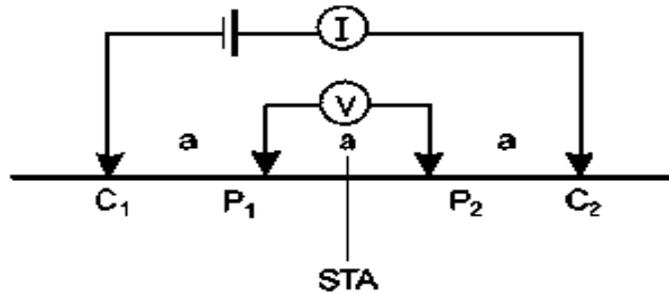
Pendekatan ini didasarkan pada teknik inversi baru, yang memungkinkan pemodelan resistivitas distribusi di bawah topografi tanah. Hasil 2D dan 3D pengukuran resistivitas listrik pada menunjukkan gambar struktur resistivitas bawah permukaan, yang tidak terdeteksi oleh geomagnetik atau metode GPR. Struktur resistivitas ditafsirkan terkait dengan penyelesaian yang berbeda fase dari zaman perunggu periode Helenistik. Teknik 3D-inversi baru ini juga berguna untuk data set resistivitas kompleks. Sebagai contohnya adalah tumpukan perak di Maroko, menunjukkan distribusi parameter model resistivitas 3D-kompleks yang berasal dari Induced Polarisation (IP) pengukuran, (Ullrich dan Ganther, 2007)

Geofisika arkeologi melibatkan penggunaan pencitraan resistivitas dan induksi polarisasi (IP) teknik yang digunakan untuk menemukan slag besi terkubur dan tungku di Lejja, Nigeria. Instrumen yang digunakan adalah mengukur sistem meter, menggunakan elektroda konfigurasi Wenner. Resistivitas dan IP Data yang diperoleh diolah dan diinterpretasikan menggunakan perangkat lunak RES2DINV. Model resistivitas terbalik mengungkapkan adanya bahan resistivitas yang relatif tinggi sekitar 1090-2600  $\Omega\text{m}$  terpendam di kedalaman 2.55-3.70 m di lokasi yang berbeda di wilayah survei. Nilai resistivitas yang relatif tinggi dari bahan tersebut ditafsirkan sebagai slag besi atau batu bata. Penentuan distribusi spasial besi dan tungku yang terkubur membantu untuk mengidentifikasi lokasi yang dimaksud (Ugwu dan Ezema, 2014). Dari hal ini metode resistivitas konfigurasi Wenner dianggap baik untuk pemetaan bawah permukaan.

Bumi mempunyai sifat homogen isotropis menjadi dasar dalam metode resistivitas. Berdasarkan asumsi ini, resistivitas yang terukur di lapangan harga resistivitas yang terukur seolah-olah merupakan nilai resistivitas untuk satu lapisan saja, sehingga resistivitas yang terukur adalah resistivitas semu. Hal yang menjadi kenyataannya bahwa bumi tersusun atas lapisan-lapisan dengan resistivitas yang berbeda-beda, sehingga dapat dikatakan potensial yang terukur merupakan pengaruh dari lapisan-lapisan tersebut (Roynold, 1997).

## 2.6. Konfigurasi Elektroda Wenner

Pada pemaparan sebelumnya dikatakan bahwa konfigurasi elektroda Wenner merupakan salah satu konfigurasi yang digunakan dalam eksplorasi geolistrik dengan susunan jarak antar elektroda sama panjang. Pada (Gambar 2.5) berikut, terlihat skema konfigurasi elektroda Wenner.



Gambar 2.5 Konfigurasi Elektroda Wenner. (Telford, 1990)

Konfigurasi elektroda Wenner memiliki nilai faktor geometri  $K$  (Telford dan Sheriff, 1990) sebagai berikut:

$$K_w = 2\pi a \quad (2.27)$$

## 2.7 Konsep Dasar Resistivitas Semu

Nilai resistivitas yang terukur di lapangan dinamakan sebagai resistivitas semu. Pemaparan bahwa bumi terdiri dari bermacam-macam lapisan dengan  $\rho$  yang berbeda-beda, sehingga potensial yang terukur juga berlainan harganya. Hal ini memberikan harga resistivitas yang terukur tidak hanya untuk satu lapisan, melainkan untuk seluruh lapisan. Pada dasarnya bumi mempunyai kondisi yang berlapis lapis dengan harga resistivitas yang berbeda-beda. Nilai resistivitas semu dinyatakan dalam persamaan (Telford dan Sheriff, 1990):

$$\rho_s = K \frac{\Delta V}{I} \quad (2.28)$$

## 2.8 Teori Inversi

Proses inversi dalam bidang geofisika bertujuan mencari model yang memberikan respon yang mirip dengan nilai pengukuran di lapangan sehingga didapatkan jenis model yang merupakan representasi matematis ideal dari suatu bagian bumi. Semua metode inversi geofisika pada dasarnya berusaha untuk menentukan model bawah permukaan yang memiliki respon sesuai dengan data terukur dalam batasan-batasan tertentu. Kuantitas fisis yang ingin diestimasi dari data yang diamati merupakan seperangkat parameter yang dimiliki model. Istilah respon model merupakan bagian data sintesis yang dapat dihitung dari hubungan matematis yang menjelaskan model tersebut untuk seperangkat parameter model. Hubungan matematis antara parameter model dan respons model untuk model 2D dan 3D diberikan oleh *finite-difference* atau metode *finite-element*. Pada metode berbasis sel yang digunakan adalah software RES2DINV atau RES3DINV. Bagian parameter model adalah nilai resistivitas dari model sel, sedangkan data adalah nilai resistivitas semu terukur (Loke, 1996).

Pada umumnya dalam sebuah metode optimasi, model awal dimodifikasi dalam bentuk iteratif sehingga selisih antara respon model dan nilai data terukur bisa dikurangi. Sejumlah data terukur dapat dituliskan:

$$\mathbf{y} = \text{col}(y_1, y_2, \dots, y_m) \quad (2.29)$$

dimana  $m$  yang dimaksud pada bagian di atas adalah jumlah pengukuran. Respon model  $f$  dapat dituliskan :

$$\mathbf{f} = \text{col}(f_1, f_2, \dots, f_m) \quad (2.30)$$

Pada proses inversi untuk kajian resistivitas, digunakan logaritma dari respon model dan nilai resistivitas semu data observasi. Parameter model dapat dituliskan:

$$\mathbf{q} = \text{col}(q_1, q_2, \dots, q_n) \quad (2.31)$$

dimana  $n$  yang dimaksud adalah jumlah parameter model. Selanjutnya, selisih antara data observasi dan respon model digambarkan oleh vektor discrepansi  $g$  sebagai berikut:

$$\mathbf{g} = \mathbf{y} - \mathbf{f} \quad (2.32)$$

Sistematika metode observasi *least-square*, model awal dimodifikasi dengan demikian jumlah kuadrat error  $E$  diminimalisir, dituliskan:

$$E = \mathbf{g}^T \mathbf{g} = \sum_{i=1}^n \mathbf{g}_i^2 \quad (2.33)$$

Selanjutnya untuk mengurangi nilai error, perubahan parameter model yang akan mengurangi jumlah kuadrat error dilakukan dengan menggunakan persamaan Gauss-Newton (Loke, 2004) sebagai berikut:

$$\mathbf{J}^T \mathbf{J} \Delta \mathbf{q}_i = \mathbf{J}^T \mathbf{g} \quad (2.34)$$

dari hal di atas dinyatakan  $\Delta \mathbf{q}$  sebagai perubahan vektor model parameter,  $\mathbf{J}$  sebagai matriks Jacobian dalam orde  $(m \times n)$ . Elemen matriks Jacobian dapat dituliskan:

$$J_{ij} = \frac{\partial f_i}{\partial q_j} \quad (2.35)$$

perubahan parameter model ke- $j$  mengakibatkan perubahan pada respon model ke- $i$ . Didapatkan sebuah model baru sebagai berikut:

$$\mathbf{q}_{k+1} = \mathbf{q}_k + \Delta \mathbf{q}_k \quad (2.36)$$

Model baru yang dihasilkan dapat bernilai tidak realistis karena bernilai sangat besar sebagai akibat vektor perubahan parameter yang dihitung menggunakan persamaan dari (2.35). Sebagai solusinya digunakan modifikasi Marquardt-Levenberg, dituliskan:

$$(\mathbf{J}^T \mathbf{J} + \lambda \mathbf{I}) \Delta \mathbf{q}_k = \mathbf{J}^T \mathbf{g} \quad (2.37)$$

dari hal di atas dinyatakan  $\mathbf{I}$  sebagai matriks identitas,  $\lambda$  sebagai Marquardt atau biasa disebut dengan faktor damping.

Solusi di atas dikenal sebagai metode regresi. Banyaknya jumlah parameter model menjadi kelemahan dari metode ini. Metode ini menghasilkan distribusi resistivitas error yang tinggi. Selanjutnya modifikasi dengan meminimalisir variasi spasial pada parameter model dilakukan untuk mengatasi masalah ini. Bentuk matematis modifikasi tersebut dinyatakan sebagai berikut:

$$(\mathbf{J}^T \mathbf{J} + \lambda \mathbf{F}) \Delta \mathbf{q}_k = \mathbf{J}^T \mathbf{g} - \lambda \mathbf{F} \mathbf{q}_k \quad (2.38)$$

dengan  $\mathbf{F} = \alpha_x \mathbf{C}_x^T \mathbf{C}_x + \alpha_y \mathbf{C}_y^T \mathbf{C}_y + \alpha_z \mathbf{C}_z^T \mathbf{C}_z$  dan  $\mathbf{C}_x$ ,  $\mathbf{C}_y$  dan  $\mathbf{C}_z$  sebagai matriks-matriks penghalus pada arah  $x$ ,  $y$  dan  $z$  serta  $\alpha_x$ ,  $\alpha_y$  dan  $\alpha_z$  sebagai bobot relatif yang diberikan pada filter penghalus dengan arah  $x$ ,  $y$  dan  $z$ .

Untuk beberapa kondisi, sejumlah daerah yang hampir homogen menjadi cirri struktur geologi bawah permukaan, serta memiliki batas yang sangat mencolok diantara daerah yang berbeda. Sehingga persamaan (2.38) dimodifikasi

untuk meminimalisir nilai model resistivitas. Perumusan metode *least-square standard* diberikan bobot seiring dengan proses iterasinya. Metode sederhana untuk menerapkan metode optimasi pada kasus tersebut adalah memodifikasi persamaan (2.33) dituliskan sebagai berikut:

$$(J^T J + \lambda F_R) \Delta q_k = J^T R_d g - \lambda F_R q_k \quad (2.39)$$

dimana untuk kasus ini berlaku nilai :

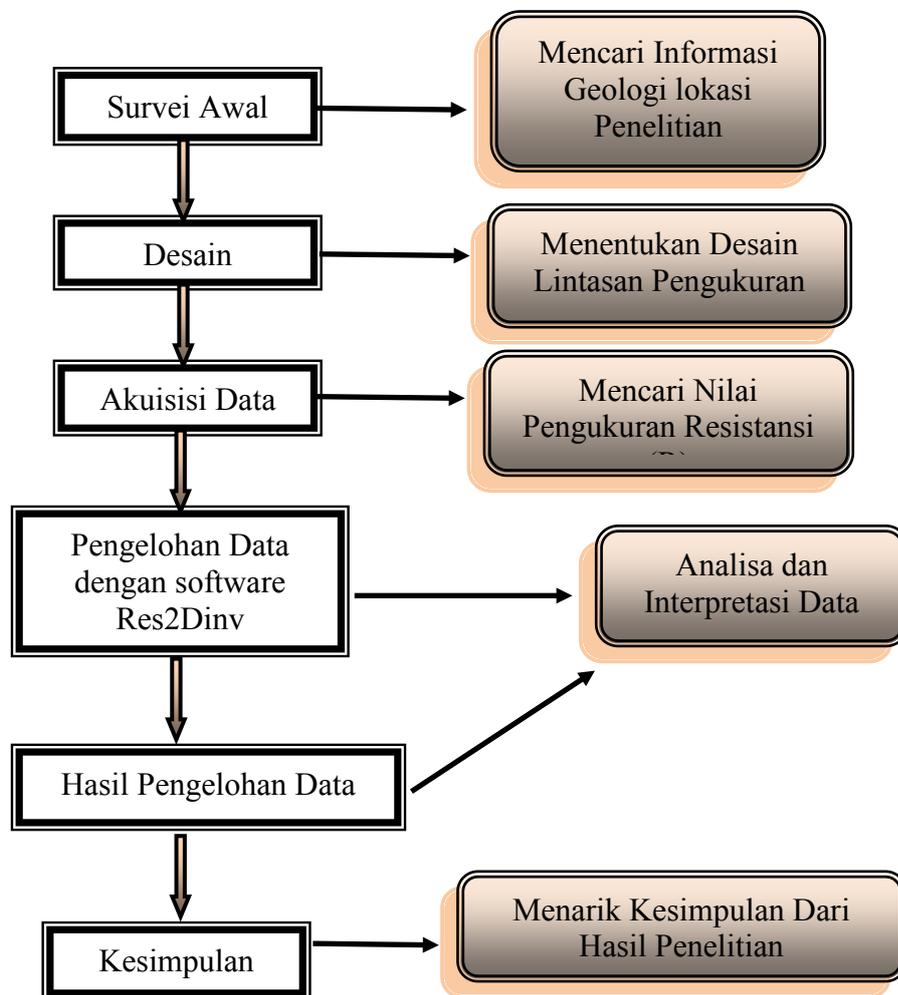
$$F_R = \alpha_x C_x^T R_m C_x + \alpha_y C_y^T R_m C_y + \alpha_z C_z^T R_m C_z \quad (2.40)$$

Pada bagian elemen-elemen data yang berbeda dari ketidakcocokan data dan kekasaran vektor model diberi bobot yang sama saat proses iterasi. Dalam hal matriks pembobot yang dimaksud adalah  $R_d$  dan  $R_m$  sampai didapatkan nilai RMS yang terkecil.

### BAB III

## METODOLOGI PENELITIAN

Bab ini memaparkan tentang lokasi penelitian, peralatan-peralatan yang digunakan pada proses pengambilan data di lapangan, dan tahapan-tahapan yang dilakukan dalam pengolahan dan interpretasi data penelitian. Secara umum diagram alir dari penelitian diperlihatkan pada (Gambar 3.1) berikut:



Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian

### 3.1 Kajian Literatur

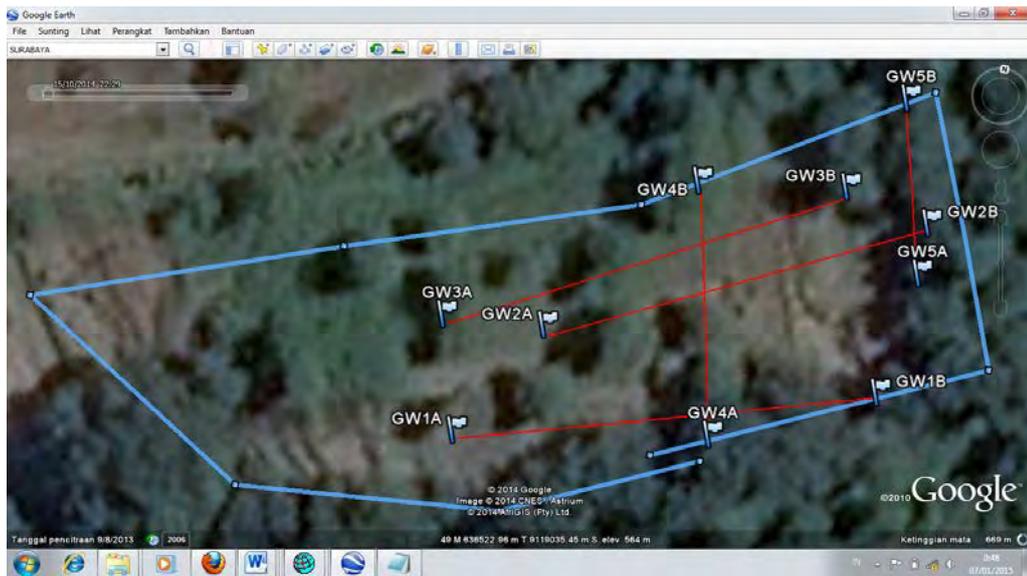
Proses pemahaman tentang pokok permasalahan dari penelitian didapatkan dengan melakukan kajian literatur yang sesuai dan merupakan langkah pertama yang dilakukan untuk mengawali penelitian ini. Penelusuran literatur mengenai metode Resistivitas didapatkan dari berbagai sumber, yaitu dari buku-buku, jurnal-jurnal yang telah terpublikasi baik secara nasional maupun internasional, maupun sumber lain yang didapatkan dari internet.

### 3.2 Gambaran Umum Lokasi Penelitian

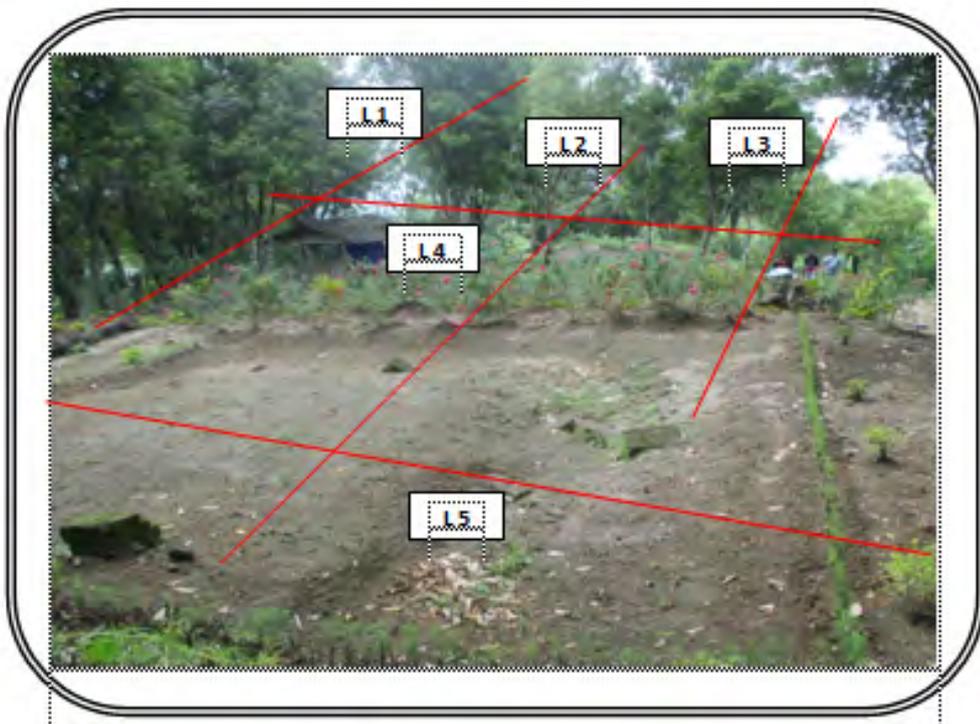
Objek daerah dalam penelitian ini adalah candi Gambar Wetan secara administratif yaitu di sebelah barat Gunung Kelud, Kecamatan Nglegok, Blitar, Jawa Timur. Secara geografis daerah penelitian ini terletak pada  $S07^{\circ} 58,084'$   $E112^{\circ} 14,289'$  sampai dengan  $S07^{\circ} 58,080'$   $E112^{\circ} 14,351'$ .



Gambar 3.2 Peta Topografi Kabupaten Blitar (Tim BPCB Mojokerto, 2014).



Gambar 3.3 Lokasi Penelitian (GoogleEart, 2014)



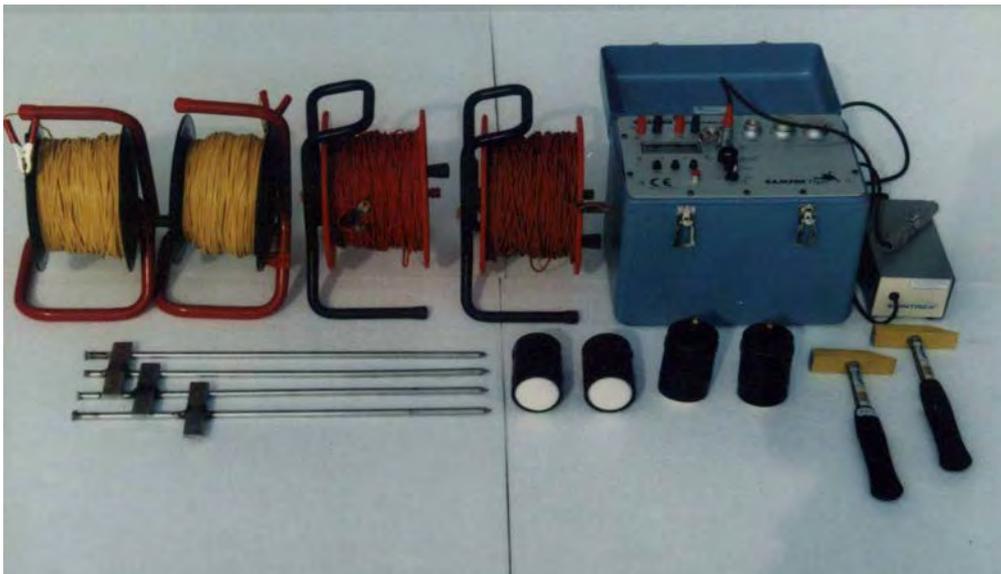
Gambar 3.4 Spesifikasi Arah Lintasan Pengambilan Data

Pada dasarnya lokasi penelitian ini berada di wilayah aliran sungai lahar gunung Kelud, seperti terlihat pada (Gambar 3.3) di atas.

### 3.3 Peralatan Akusisi Data

Peralatan yang digunakan dalam thapan pengukuran data di lapangan pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Resistivitymeter Tigre Campus,
2. Kabel penghubung 4 roll,
3. Batang elektroda 12 batang,
4. Palu 2 buah,
5. Meteran,
6. GPS,
7. HT,
8. Sheet data Wenner.



Gambar 3.5 Peralatan Resistivitymeter Tigree Campus. (Laboratorium Geofisika ITS, 2014)

### 3.4 Akusisi Data

Pada penelitian ini menggunakan metode pengukurann resistivitas mapping dengan konfigurasi elektroda Wenner. Jenis konfigurasi tersebut dipilih dengan pertimbangan tujuan dari penelitian ini adalah pemetaan literal batuan penyusun candi bawah permukaan dan memiliki respon sinyal dan resousi horizontal yang baik dibanding konfigurasi lain. Dalam menganalisa kondisi

bawah permukaan, metode geolistrik memiliki kemampuan untuk membedakan material di dalam bumi berdasarkan kemampuannya untuk mengkonduksi arus listrik. Metode ini merupakan metode non-destruktif dan mudah dioperasikan sehingga sesuai untuk digunakan dalam penelitian tersebut (Sjodahl et al., 2006; Johansson dan Dahlin., 1996; Johansson, 1997).

Teknis pelaksanaan pengambilan data pada penelitian ini dibagi menjadi 2 tahap, yaitu :

### 3.4.1 Tahap Persiapan

Sebelum melakukan proses pengambilan data di lapangan, terlebih dahulu dilakukan tahap persiapan yang meliputi survei lapangan lokasi penelitian untuk mendapatkan desain akuisisi dan penentuan lintasan yang tepat.

### 3.4.2 Tahap Pengambilan Data

Tahapan proses pengambilan data dilakukan dengan cara memasang 4 elektroda dalam hal ini 2 elektroda arus dan 2 elektroda potensial, diletakkan sejajar dalam satu garis lurus, kemudian ke-4 elektroda dihubungkan dengan Resistivitymeter Tigre Campus. Lintasan pengukuran geolistrik tahanan jenis direncanakan sebanyak 5 lintasan dengan panjang setiap lintasan yang berbeda seperti pada (Gambar 3.4) di atas.

Tabel 3.1 Spesifikasi Lintasan Pengukuran Resistivitas Candi Gambar Wetan

No	Nama Lintasan	Panjang Lintasan	Koordinat	
			Awal	Akhir
1	Lintasan 1	50 meter	S7 <sup>0</sup> 58,090' E112 <sup>0</sup> 14,318'	S7 <sup>0</sup> 58,083' E112 <sup>0</sup> 14,345'
2	Lintasan 2	51 meter	S7 <sup>0</sup> 58,082' E112 <sup>0</sup> 14,323'	S7 <sup>0</sup> 58,072' E112 <sup>0</sup> 14,346'
3	Lintasan 3	50 meter	S7 <sup>0</sup> 58,082' E112 <sup>0</sup> 14,317'	S7 <sup>0</sup> 58,071' E112 <sup>0</sup> 14,340'
4	Lintasan 4	29 meter	S7 <sup>0</sup> 58,087' E112 <sup>0</sup> 14,335'	S7 <sup>0</sup> 58,071' E112 <sup>0</sup> 14,331'
5	Lintasan 5	24 meter	S7 <sup>0</sup> 58,075' E112 <sup>0</sup> 14,346'	S7 <sup>0</sup> 58,065' E112 <sup>0</sup> 14,343'

Untuk mendapatkan pembacaan kontur yang lebih baik digunakan spasi elektroda sebesar 0,5 meter. Konfigurasi Wenner digunakan karena memiliki respon sinyal dan resolusi horizontal yang baik dibanding konfigurasi lain, menimbang target kedalaman yang diinginkan tidak terlalu besar.

### **3.5 Pengolahan Data**

Nilai tahanan jenis semu (*apparent resistivity*) didapatkan pada tahap pengambilan data. Oleh karena itu seperti yang dijelaskan pada bagian landasan teori, data tersebut masih perlu diolah sehingga menjadi nilai resistivitas sebenarnya (*true resistivity*). Software yang digunakan untuk mengubah nilai resistivitas semu menjadi nilai resistivitas sebenarnya adalah software Res2Dinv.

Tahapan-tahapan pengolahan data adalah sebagai berikut:

1. Penghitungan nilai faktor geometri (K) merujuk pada dengan persamaan (2.27).
2. Penghitungan nilai resistivitas ( $\rho$ ) dari hasil pengukuran merujuk pada persamaan (2.28).
3. Pengubahan format data pengukuran (format Excel menjadi format Notepad) sesuai dengan prosedur yang berlaku.
4. Melakukan inversi dengan software Res2Dinv untuk mendapatkan kontur resistivitas bawah permukaan.

Bagian penjelasannya yaitu sebagai suatu proses sistematis. Data pengukuran di lapangan yang didapatkan dijadikan sebagai masukan pada software Res2Dinv. Kandungan yang terdapat dalam struktur bawah permukaan tersebut diinterpretasikan berdasarkan citra warna yang menggambarkan distribusi tahanan jenis di bawah permukaan.

### **3.6 Interpretasi Data**

Proses interpretasi data dilakukan dengan melihat karakteristik harga resistivitas yang diperoleh dari hasil pemodelan dari software Res2Dinv berdasarkan tabel konversi nilai tahanan jenis beberapa jenis batuan. Untuk menunjang interpretasi yang maksimal maka hasil pengolahan data resistivitas dikorelasikan dengan data hasil ekskavasi penggalian di lokasi penelitian yang sudah dilakukan sebelumnya.

## **BAB IV**

### **HASIL DAN PEMBAHASAN**

#### **4.1. Hasil**

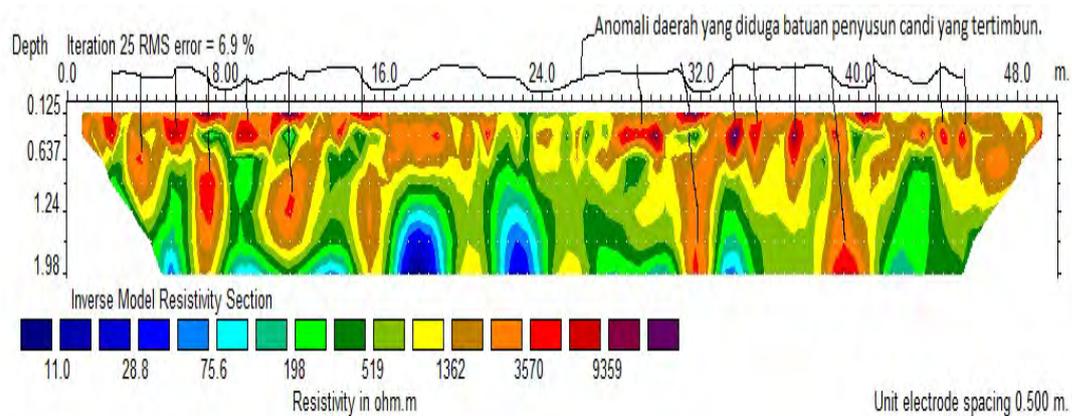
Data hasil inversi menggunakan software Res2Dinv mendapatkan tampilan kontur resistivitas 2 dimensi dari struktur lapisan tanah bawah permukaan di lokasi penelitian sebagai berikut:

##### **Lintasan 1**

Panjang lintasan 1 adalah 50 meter dengan lebar spasi 0.5 meter dan terletak pada koordinat  $S7^{\circ} 58,090'$   $E112^{\circ} 14,318'$  sampai dengan  $S7^{\circ} 58,083'$   $E112^{\circ} 14,345'$  (Gambar 4.1). Hasil inversi penampang 2-D diperoleh nilai resistivitas pada masing-masing lapisan berkisar antara  $11,0 \Omega\text{m}$  sampai  $24.000 \Omega\text{m}$  dengan error RMS 6,9 %. Anomali resistivitas terletak pada jarak 2 - 45 meter dari start awal pengukuran pada kedalaman 0,125 – 1,98 meter dari permukaan. Anomali resistivitas tersebut dicitrakan dengan warna merah dan ungu yang mempunyai nilai resistivitas tinggi, yaitu sekitar 3.570 sampai  $24.000 \Omega\text{m}$ . Dari hasil pengolahan data untuk lintasan 1 diperoleh kontur resistivitas lapisan bawah permukaan seperti pada (Gambar 4.2)



Gambar 4.1 Lokasi Pengukuran Pada Lintasan 1



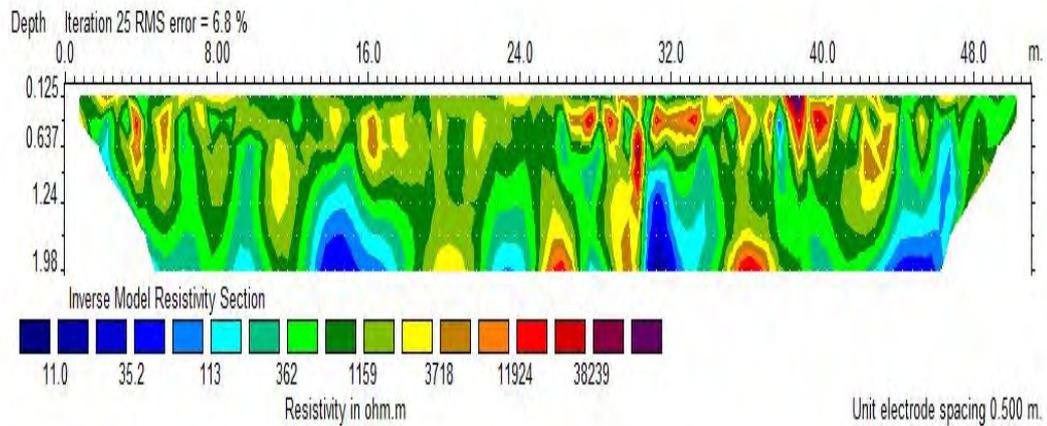
Gambar 4.2 Kontur Resistivitas Model Inversi Pada Lintasan 1

### Lintasan 2

Lintasan 2 diambil sejajar dengan berjarak 13 meter dari lintasan 1. Panjang lintasan 51 meter dengan lebar spasi 0.5 meter dan terletak pada koordinat  $S7^{\circ} 58,082'$   $E112^{\circ} 14,323'$  sampai dengan  $S7^{\circ} 58,072'$   $E112^{\circ} 14,346'$  (Gambar 4.3). Hasil inversi penampang 2-D diperoleh nilai resistivitas pada masing-masing lapisan berkisar antara  $11,0 \Omega m$  sampai  $90.000 \Omega m$  dengan error RMS 6,8 %. Anomali resistivitas terletak pada jarak 26 - 41 meter dari start awal pengukuran pada kedalaman 0,125 – 1,98 meter dari permukaan. Anomali resistivitas tersebut dicitrakan dengan warna merah dan ungu yang mempunyai nilai resistivitas yang tinggi, yaitu sekitar 11.924 sampai 24.000  $\Omega m$ . Dari hasil pengolahan data untuk lintasan 2 diperoleh kontur resistivitas lapisan bawah permukaan seperti pada (Gambar 4.4)



Gambar 4.3 Lokasi Pengukuran Pada Lintasan 2



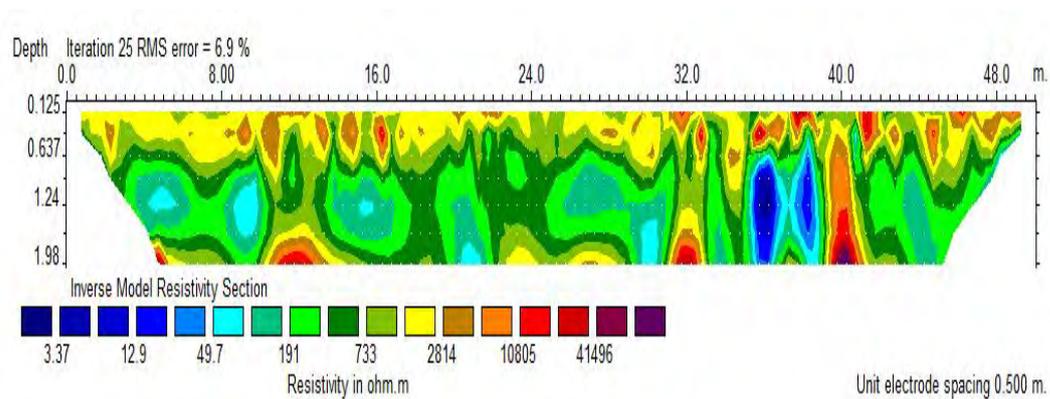
Gambar 4.4 Kontur Resistivitas Model Inversi Pada Lintasan 2

### Lintasan 3

Lintasan 3 berada sejajar sekitar 8 meter dari lintasan 2. Panjang lintasan adalah 50 meter dengan lebar spasi 0.5 meter dan terletak pada koordinat  $S7^{\circ} 58,082'$   $E112^{\circ} 14,317'$  sampai dengan  $S7^{\circ} 58,071'$   $E112^{\circ} 14,340'$  (Gambar 4.5). Hasil inversi penampang 2-D diperoleh nilai resistivitas pada masing-masing lapisan berkisar antara  $3,37 \Omega\text{m}$  sampai  $160.000 \Omega\text{m}$  dengan error RMS 6,9 %. Anomali resistivitas terletak pada jarak 11 - 41 meter dari start awal pengukuran pada kedalaman 0,125 – 1,98 meter dari permukaan. Anomali resistivitas tersebut dicitrakan dengan warna merah dan ungu yang mempunyai nilai resistivitas yang tinggi, yaitu sekitar 10.805 sampai  $160.000 \Omega\text{m}$ . Dari hasil pengolahan data untuk lintasan 3 diperoleh kontur resistivitas lapisan bawah permukaan seperti terlihat pada (Gambar 4.6)



Gambar 4.5 Lokasi Pengukuran Pada Lintasan 3



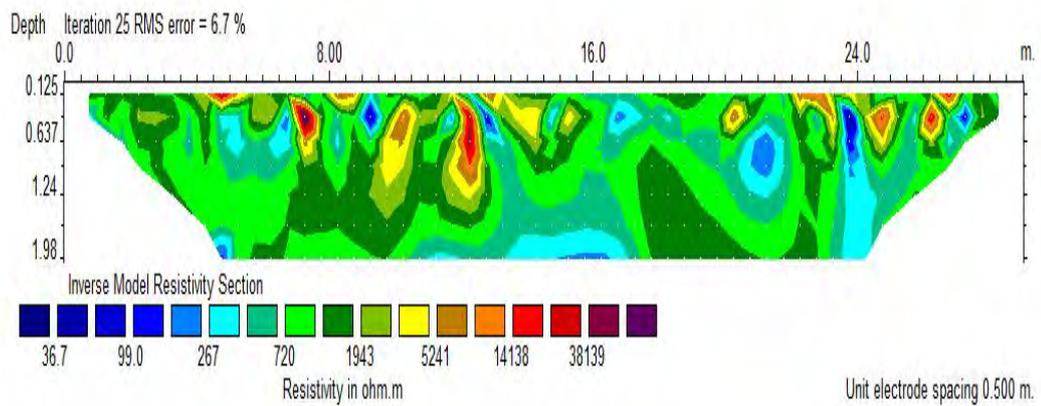
Gambar 4.6 Kontur Resistivitas Model Inversi Pada Lintasan 3

#### Lintasan 4

Lintasan 4 diambil memotong dengan lintasan 1, 2 dan 3. Panjang lintasan adalah 29 meter dengan lebar spasi 0.5 meter dan terletak pada koordinat  $S7^{\circ} 58,087'$   $E112^{\circ} 14,335'$  sampai dengan  $S7^{\circ} 58,071'$   $E112^{\circ} 14,331'$  (Gambar 4.7). Hasil inversi penampang 2-D diperoleh nilai resistivitas pada masing-masing lapisan berkisar antara  $36,7 \Omega\text{m}$  sampai  $90.000 \Omega\text{m}$  dengan error RMS 6,7 %. Anomali resistivitas terletak pada jarak 7 - 8 meter dan 12 -13 meter dari start awal pengukuran pada kedalaman 0,125 – 1,24 meter dari permukaan. Anomali resistivitas tersebut dicitrakan dengan warna merah dan ungu yang mempunyai nilai resistivitas yang tinggi, yaitu sekitar 14.138 sampai  $90.000 \Omega\text{m}$ . Dari hasil pengolahan data untuk lintasan 4 diperoleh kontur resistivitas lapisan bawah permukaan seperti terlihat pada (Gambar 4.8).



Gambar 4.7 Lokasi Pengukuran Pada Lintasan 4



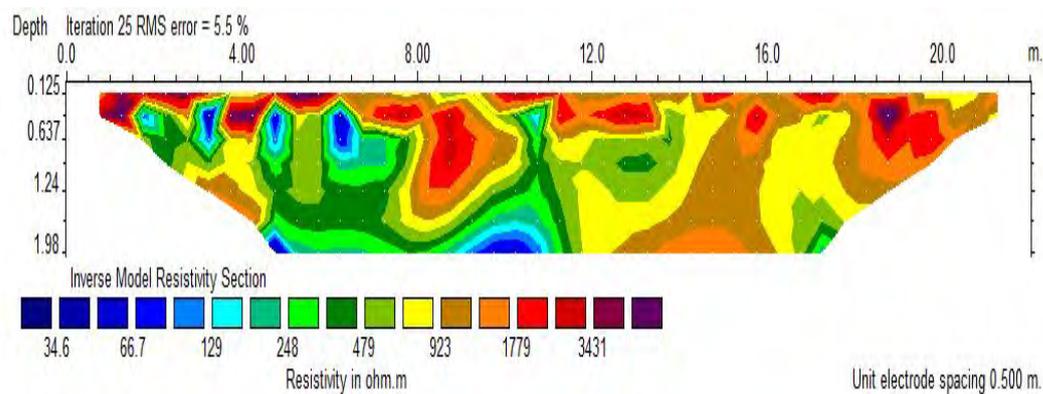
Gambar 4.8 Kontur Resistivitas Model Inversi Pada Lintasan 4

### Lintasan 5

Lintasan 5 diambil sejajar dengan lintasan 4 berpotongan dengan lintasan 2. Panjang lintasan ini adalah 24 meter dengan lebar spasi 0.5 meter dan terletak pada koordinat  $S7^{\circ} 58,075'$   $E112^{\circ} 14,346'$  sampai dengan  $S7^{\circ} 58,065'$   $E112^{\circ} 14,343'$  (Gambar 4.9). Hasil inversi penampang 2-D diperoleh nilai resistivitas pada masing-masing lapisan berkisar antara  $34,6 \Omega\text{m}$  sampai  $7.000 \Omega\text{m}$  dengan error RMS 5,5 %. Anomali resistivitas terletak pada jarak 1 - 21 meter dari start awal pengukuran pada kedalaman 0,125 - 1,24 meter dari permukaan. Anomali resistivitas tersebut dicitrakan dengan warna merah dan ungu yang mempunyai nilai resistivitas yang tinggi, yaitu sekitar 1.779 sampai  $7.000 \Omega\text{m}$ . Dari hasil pengolahan data untuk lintasan 5 diperoleh kontur resistivitas lapisan bawah permukaan seperti pada (Gambar 4.10).

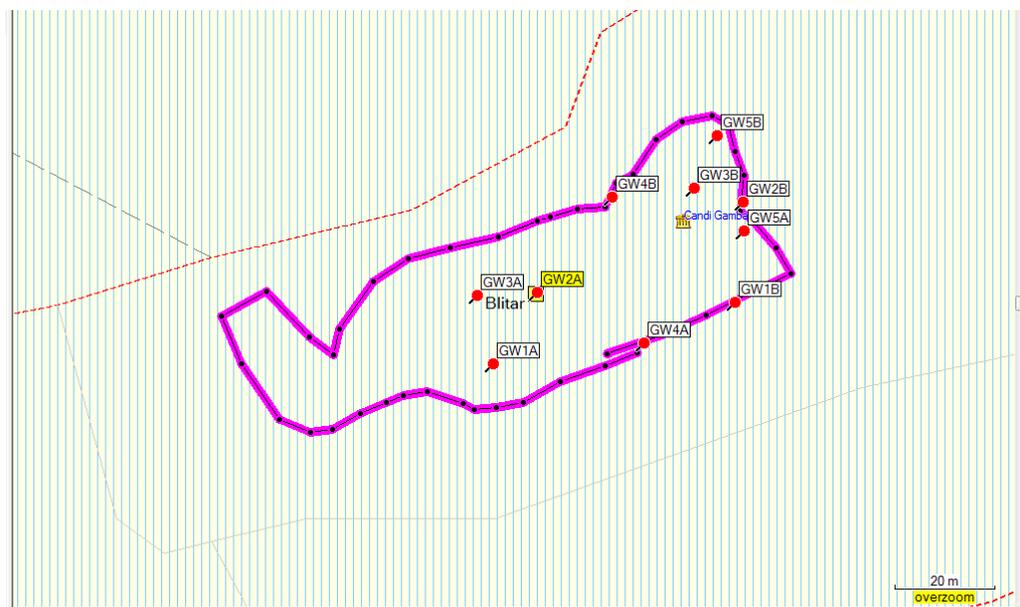


Gambar 4.9 Lokasi Pengukuran Pada Lintasan 5



Gambar 4.10 Kontur Resistivitas Model Inversi Pada Lintasan 5

Dari kelima lintasan di atas, posisi koordinat lokasi setiap lintasan dan halaman lokasi candi Gambar Wetan secara menyeluruh yang dicatat menggunakan alat GPS kemudian diplot pemetaannya dalam program *MapSource* seperti pada (Gambar 4.11) berikut,



Gambar 4.11 Pemetaan Lokasi Candi Gambar Wetan (MapSource).

Candi Gambar Wetan yang merupakan obyek penelitian, menurut sejarah tertimbun sebagai akibat dari erupsi gunung Kelud, dengan pemetaan program

*GoogleEart* digambarkan bahwa lokasi candi berjarak hanya sekitar 9 km dari gunung Kelud. Hal tersebut dapat dilihat seperti pada (Gambar 4.12) berikut,



Gambar 4.12 Jarak Antara Candi Gambar Wetan dengan Gunung Kelud

Selanjutnya dalam proses eskavasi yang pernah dilakukan oleh pihak Balai Pelestarian Cagar Budaya Mojokerto, dari hasil galian beberapa titik lokasi di candi Ganbar Wetan terlihat bahwa dimensi batuan yang didapatkan berkisar panjangnya 1 sampai 2 meter dengan kedalaman kurang dari dua meter. Hal tersebut menjadi dasar dalam penelitian ini digunakan spasi jarak elektroda sebesar 0,5 meter dengan harapan mendapatkan resolusi penggambaran bawah permukaan yang bagus. Beberapa lokasi yang belum tergali dengan menggunakan metode Resistivitas konfigurasi Wenner diharapkan dapat memberikan pemetaan penyebaran batuan penyusun candi yang masih tertimbun. Dari proses eskavasi juga terlihat bahwa pada kedalaman sekitar 0,75 meter singkapan batuan yang tertimbun juga sudah nampak. Pada dasarnya secara menyeluruh dimensi batuan tersingkap kurang dari kedalaman 2 meter. Hal ini menjadi bahan pertimbangan dalam proses interpretasi data hasil inversi dari pengukuran nilai resisitivitas batuan. Besarnya kedalaman dimensi batuan penyusun candi yang tergali dapat dilihat pada (Gambar 4.13) berikut:



Gambar 4.13 Kedalaman Dimensi Batuan Penyusun Candi Hasil Eskavasi

#### 4.2. Pembahasan

Berdasarkan informasi yang telah diperoleh, perihal batuan penyusun candi Gambar Wetan yang terpendam di bawah permukaan tanah sebagai akibat dari erupsi gunung Kelud. Hal ini mendasari perlu dilakukannya pengukuran dengan metode pemetaan bawah permukaan di sekitar daerah yang diduga terdapat sisa bangunan candi agar proses penggalian dapat dilakukan tanpa menimbulkan kerusakan dan diperoleh hasil yang signifikan dan efisien.

Aplikasi metode geolistrik telah sampai pada bidang arkeologi, pelacakan benda purbakala di lokasi penemuan menjadi lebih mudah dan efisien dengan penggunaan metode resistivitas. Dalam konteks ini metode geofisika tersebut dapat membantu mengetahui keberadaan dan sebaran batu candi yang masih terpendam didasarkan pada perbedaan sifat-sifat fisis batuan penyusun candi terhadap batuan di sekitarnya. Metode resistivitas adalah salah satu metode dalam geolistrik yang dapat digunakan untuk melacak keberadaan situs purbakala pada masa lampau sehingga dalam proses penggaliannya tidak diperlukan banyak biaya dan waktu.

Letusan erupsi gunung Kelud membawa material-material yang umumnya

berupa endapan material pasir sebagai hasil vulkanik gunung api, sedangkan batu penyusun candi Gambar Wetan adalah batu andesit. Kedua material batuan ini memiliki perbedaan dari segi nilai resistivitas dibandingkan dengan lingkungannya sehingga dengan menggunakan metode resistivitas akan mampu memberikan sumbangan dalam upaya pelacakan batu-batu penyusun candi yang terpendam. Pada dasarnya batuan penyusun candi adalah batuan andesit (beku) yang memiliki nilai resistivitas lebih tinggi dengan lingkungannya sekitar 170 sampai dengan 450.000  $\Omega\text{m}$ . Pada penelitian ini digunakan metode resistivitas mapping konfigurasi Wenner mengingat hasil yang diharapkan adalah perkiraan penyebaran batuan penyusun candi.

Metode geolistrik merupakan metode yang paling baik dan sesuai untuk digunakan karena sifatnya yang non-destruktif, sehingga perlakuan yang dianjurkan akan lebih tepat sasaran (Sjodahl dkk, 2006). Penelitian terkait arkeologi tersebut menjadi landasan awal bagi penulis untuk mengaplikasikan metode tersebut dalam studi struktur bawah permukaan di wilayah candi Gambar Wetan. Dalam bidang penelitian geofisika arkeologi contoh penggunaan metode resistivitas untuk menemukan slag besi dan tungku di Lejja Nigeria yang terpendam dalam tanah sebagai bagian dari peninggalan arkeologi. Instrumen yang digunakan adalah konfigurasi elektroda Wenner, (Ugwu dan Ezema, 2014).

Selanjutnya berdasarkan analisa data dari sub bab sebelumnya, pembahasan untuk masing-masing lintasan dipaparkan sebagai penguat penentuan anomali yang dimaksud. Untuk lebih memudahkan proses interpretasi pengamat, bagian yang diduga anomali ditandai dalam bentuk garis hitam beserta keterangan. Hal ini tampak jelas dalam penampang hasil inversi dari kelima lintasan.

Dari hasil pengolahan data untuk lintasan 1 diperoleh kontur resistivitas lapisan bawah permukaan seperti ditunjukkan pada Gambar 4.2. Anomali resistivitas terletak pada jarak 2 - 45 meter dari start awal pengukuran pada kedalaman 0,125 – 1,98 meter dari permukaan. Anomali resistivitas tersebut dicitrakan dengan warna merah dan ungu yang mempunyai nilai resistivitas yang tinggi, yaitu sekitar 3.570 sampai 24.000  $\Omega\text{m}$ . Nilai range resistivitas yang dimaksud adalah batuan andesit. Posisi ini merupakan zona batuan penyusun

candi yang terkubur. Batuan andesit (beku) yang memiliki nilai resistivitas lebih tinggi dengan lingkungannya sekitar 170 sampai dengan 450.000  $\Omega\text{m}$ . (Telford dan Sheriff, 1990).

Lintasan 2 diambil sejajar dengan berjarak 13 meter lintasan 1. Anomali resistivitas terletak pada jarak 26 - 41 meter dari start awal pengukuran pada kedalaman 0,125 – 1,98 meter dari permukaan. Anomali resistivitas tersebut dicitrakan dengan warna merah dan ungu yang mempunyai nilai resistivitas yang tinggi, yaitu sekitar 11.924 sampai 24.000  $\Omega\text{m}$ . Nilai resistivitas anomali yang diduga batuan penyusun candi dimaksud pada lintasan kedua relatif lebih tinggi daripada lintasan pertama. Nilai range resistivitas yang dimaksud adalah batuan andesit.

Lintasan 3 berada sejajar sekitar 8 meter dari lintasan 2. Anomali resistivitas terletak pada jarak 11 - 41 meter dari start awal pengukuran pada kedalaman 0,125 – 1,98 meter dari permukaan. Anomali resistivitas tersebut dicitrakan dengan warna merah dan ungu yang mempunyai nilai resistivitas sangat tinggi, yaitu sekitar 10.805 sampai 160.000  $\Omega\text{m}$ . Anomali yang dimaksud pada lintasan 3 memiliki nilai resistivitas yang sangat tinggi dibandingkan dengan lintasan 1 dan 2 yang dimaksud sebagai batuan andesit. Pada lintasan 3 ini juga terdapat anomali rendah pada kedalaman 0,637 sampai 1,98 meter yang diduga sebagai tanah pelataran candi Gambar Wetan yang tertimbun, ini dapat dilihat dari kontur tanah sepanjang lintasan.

Lintasan 4 diambil memotong lintasan 1, 2 dan 3. Anomali resistivitas terletak pada jarak 7 - 8 meter dan 12 -13 meter dari start awal pengukuran pada kedalaman 0,125 – 1,24 meter dari permukaan. Anomali resistivitas tersebut dicitrakan dengan warna merah dan ungu yang mempunyai nilai resistivitas cukup tinggi, yaitu sekitar 14.138 sampai 90.000  $\Omega\text{m}$  sebagai batuan andesit.

Lintasan 5 diambil sejajar dengan lintasan 4. Anomali resistivitas terletak pada jarak 1 - 21 meter dari start awal pengukuran pada kedalaman 0,125 – 1,24 meter dari permukaan. Anomali resistivitas tersebut dicitrakan dengan warna merah dan ungu yang mempunyai nilai resistivitas cukup tinggi, yaitu sekitar 1.779 sampai 7.000  $\Omega\text{m}$  sebagai batuan andesit. Anomali yang dimaksud pada lintasan 5 memiliki nilai resistivitas yang cenderung lebih rendah

dibandingkan dengan keempat lintasan lainnya. Lintasan 5 memperlihatkan dimensi batuan yang diduga penyusun candi dalam dimensi yang cukup besar. Hal ini memberikan gambaran bahwa kemungkinan di lokasi yang dimaksud merupakan bagian bangunan candi utama, karena menurut sejarah semakin ke arah timur lokasi tersebut adalah bangunan utama candi. (Tim BPCP Mojokerto).

Berdasarkan hasil pengolahan data serta pencocokan penampang 2 dimensi diinterpretasikan bahwa identifikasi penyebaran batuan penyusun candi Gambar Wetan terdapat anomali resistivitas yang sangat besar pada lintasan 3 yang memiliki kisaran resistivitas 10.805-160.000  $\Omega\text{m}$  (batuan andesit) yang diduga benda arkeologi sebagai batuan penyusun candi yang terkubur akibat erupsi gunung Kelud. Anomali resistivitas yang sangat rendah dibandingkan dari kelima lintasan berada pada lintasan 5 yang memiliki kisaran resistivitas 1.779 sampai 7.000  $\Omega\text{m}$  (batuan andesit). Anomali resistivitas tersebut dicitrakan dengan warna merah dan ungu. Hal ini sesuai dengan teori yang menyatakan bahwa batuan andesit memiliki nilai resistivitas lebih tinggi dengan lingkungannya, sekitar 170 sampai dengan 450.000  $\Omega\text{m}$ . (Telford dan Sheriff, 1990). Tim Balai Pelestarian Cagar Budaya Jawa Timur menyatakan bahwa semakin ke arah timur lokasi tersebut adalah bangunan utama candi berdasarkan pemaparan dan hasil eskavasi awal di lokasi candi Gambar Wetan.

Resistivitas semu (*apparent resistivity*) dipengaruhi oleh jenis batuan yang berada di bawah permukaan. Apabila batuannya lebih berongga maka nilai resistivitasnya kecil, sedangkan apabila batuan lebih kompak maka nilai resistivitasnya akan lebih besar. Batuan yang lebih kompak akan lebih sulit mengalirkan arus daripada batuan yang berongga. Resistivitas terhadap kedalaman tidak dapat kita peroleh hubungan secara langsung, karena masih tergantung dari jenis batuan yang dikandung di bawah permukaannya.

Hubungan antara jarak  $a$  atau jarak antar elektroda terhadap kedalaman dapat dilihat pada hasil inversi di atas. Dari hasil tersebut dapat diambil interpretasi bahwa semakin lebar jarak  $a$  maka kedalaman yang dapat diukur pun semakin dalam. Kedalaman yang didapatkan dipengaruhi oleh faktor geometri, untuk konfigurasi Wenner nilai faktor geometri bernilai  $2\pi a$ .

Halaman ini sengaja dikosongkan

## **BAB V**

### **PENUTUP**

#### **5.1 Kesimpulan**

Dari hasil analisa data dan pembahasan dapat ditarik berbagai kesimpulan sebagai berikut:

1. Pendugaan batuan penyusun candi dapat dipengaruhi oleh proses- proses pada permukaan. Proses kandungan air, suhu, porositas, yang mempunyai pengaruh besar terhadap nilai resistivitas dalam memperkirakan batuan andesit sebagai penyusun candi.
2. Penyebaran batuan candi dengan dimensi yang cukup besar terdapat pada arah lintasan ke-5 ke arah timur halaman candi Gambar Wetan yang diinterpretasikan sebagai bagian lokasi penyusun bangunan candi utama.
3. Berdasarkan kontur resistivitas daerah penelitian untuk setiap lintasan, terdapat nilai resistivitas yang sangat tinggi pada situs Candi Gambar Wetan yaitu anomali resistivitas yang sangat besar besar pada lintasan 3 yang memiliki kisaran resistivitas 10.805-160.000  $\Omega\text{m}$  (batuan andesit) diduga benda arkeologi sebagai batuan penyusun candi yang terkubur akibat erupsi gunung Kelud. Anomali resistivitas yang sangat rendah dibandingkan dari kelima lintasan berada pada lintasan 5 yang memiliki kisaran resistivitas 1.779 sampai 7.000  $\Omega\text{m}$  (batuan andesit).

#### **5.2 Saran**

Untuk mendapatkan hasil pemetaan sebaran batuan penyusun candi gambar Wetan yang lebih obyektif, maka perlu adanya data pembanding penelitian metode resistivitas yang menggunakan bentuk konfigurasi lainnya.

Halaman ini sengaja dikosongkan

# Lampiran 1 (Dokumentasi Kegiatan Penelitian)









## Lampiran 2 (Administrasi Persuratan)



**KEMENTERIAN PENDIDIKAN DAN KEBUDAYAAN**  
**INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER**  
**JURUSAN FISIKA**  
**FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM**  
Kampus ITS Sukolilo, Surabaya 60111  
Telp : 031-594 3351 / Fax : 031-594 3351  
e-mail : fisika@its.ac.id ; administrasi@physics.its.ac.id

Nomor : 73574/IT2.1.1.1/PP.05.02/2014 11 Nopember 2014  
Lampiran : -  
Hal : Ijin Pengambilan Data Riset

Kepada Yth : - Kepala Balai Pelestarian Cagar Budaya Trowulan Mojokerto  
- Kepala Desa Sumberasri Kec. Nglegok Kab. Blitar  
- Pengelola Candi Gambar Wetan

Dengan hormat,

Sehubungan dengan pelaksanaan survey dan pengambilan data riset mahasiswa Program Studi Magister Jurusan Fisika FMIPA ITS,

Nama : Agussalim  
NRP : 1112201018  
Bidang Keahlian : Fisika Bumi  
Judul Penelitian Tesis : Aplikasi Metode Resistivitas Konfigurasi Wenner Untuk Menafsirkan Penyebaran Batuan Situs Purbakala Candi Gambar Wetan Kabupaten Blitar  
Promotor : Dr. Eko Minarto, M.Si

Dengan ini kami mohon mahasiswa tersebut diperkenankan untuk melakukan pengambilan data di lokasi Candi Gambar Wetan yang dilaksanakan pada hari Sabtu s/d Kamis tanggal 29 Nopember - 4 Desember 2014, guna menunjang penelitian Tesis mahasiswa tersebut.

Demikian atas bantuan dan kerjasamanya kami ucapkan terima kasih.

Ketua Jurusan,  
  
Dr. Yono Hadi Hramono, M.Eng  
NIP. 19690904 199203.1.003



KEMENTERIAN PENDIDIKAN DAN KEBUDAYAAN  
BALAI PELESTARIAN CAGAR BUDAYA MOJOKERTO  
WILAYAH KERJA PROPINSI JAWA TIMUR

Jalan Majapahit No. 141 – 143 Trowulan, Kabupaten Mojokerto 61362  
Telepon : (0321) 495515, Faksimil : (0321) 495515  
Laman : purbakala.jatim@yahoo.com

**SURAT IJIN PEMANFAATAN SITUS CAGAR BUDAYA**  
**Nomor : HK.501/2088/CB7/BPCB/XI/2014**

Kepala Balai Pelestarian Cagar Budaya Mojokerto Wilayah Kerja Propinsi Jawa Timur  
memberi ijin kepada :

Nama Mahasiswa : Agussalim, NIM. 1112201018  
Asal : Institut Teknologi sepuluh Nopember, Fakultas Matematika dan Ilmu  
Pengetahuan Alam, Jurusan Fisika.  
Memanfaatkan : Candi Gambar Wetan Kabupaten Blitar  
Keperluan : Ijin penelitian dengan judul "Aplikasi Metode *Resistivitas Konfigurasi*  
*Wenner* untuk menafsirkan penyebaran batuan Situs Purbakala  
Candi Gambar Wetan Kabupaten Blitar"  
Waktu : 29 Nopember s/d 31 Desember 2014

Dengan persyaratan sebagai berikut :

1. Dalam kegiatan penelitian tersebut sekiranya dapat menyebabkan kerusakan terhadap situs maupun benda cagar budaya terlebih dahulu dikoordinasikan dengan Balai Pelestarian Cagar Budaya Mojokerto
2. Ikut menjaga kebersihan dan kelestarian lingkungan situs dan cagar budaya.
3. Kegiatan dilaksanakan pada pagi/siang hari/jam kerja kantor.
4. Selama Kegiatan didampingi oleh petugas dari Balai Pelestarian Cagar Budaya Mojokerto.
5. Wajib menyerahkan 1 Eksemplar hasil Pengumpulan Data Lapangan dan hasil observasi yang dilaksanakan

Apabila di dalam pelaksanaan kegiatan yang Saudara lakukan ternyata terdapat penyimpangan dari persyaratan di atas, maka akan diberi sanksi sesuai dengan peraturan yang berlaku.

Demikian surat ijin ini diberikan agar dipergunakan sebagaimana mestinya.

Mojokerto, 25 Nopember 2014

An. Kepala

Kasie Pelindungan, Pengembangan  
dan Pemanfaatan



Drs. Edhi Widodo

NIP. 19620218 199403 1 001



*PT. Perkebunan dan Dagang Gambar Blitar*

## **SURAT KETERANGAN**

**No : 017 / SK/ GBR/ XII/ 2014**

Menindaklanjuti surat dari Balai Pelestarian Cagar Budaya Mojokerto Wilayah Kerja Propinsi Jawa Timur No. HK.501/2088/CB7/BPCB/XI/2014 tanggal 25 Nopember 2014 perihal Surat Ijin Pemanfaatan Situs Cagar Budaya terkait dengan penelitian “ Aplikasi Metode *Resistivitas Konfigurasi Wenner* “, yang dilaksanakan oleh :

Nama : Agussalim, S.Si  
NIM : 1112201018  
Jurusan : Fisika  
Fakultas : MIPA  
Perguruan Tinggi : Institut Teknologi Sepuluh November Surabaya  
Penelitian : “ Aplikasi Metode *Resistivitas Konfigurasi Wenner* untuk menafsirkan penyebaran batuan Situs Purbakala Candi Gambar Wetan Kabupaten Blitar “.

Maka dengan ini kami menyatakan yang bersangkutan telah benar – benar melaksanakan penelitian tersebut di Candi Gambar Wetan ( Komplek PT. Perkebunan Dan Dagang Gambar ) Pelaksanaan Penelitian tanggal 20 – 23 Desember 2014.

Demikian Surat Keterangan ini dibuat dan untuk yang berkepentingan agar maklum adanya.

Blitar, 23 Desember 2014  
PT. Perkebunan Dan Dagang Gambar

**RIC. WIDODO**  
**Direktur Utama**

Dsn. Gambar, Ds. Sumberasri, Kec. Nglepok, Kab. Blitar PO BOX 110 Blitar Telp. (0342) 7735192 .

Surabaya, 02 Desember 2014

**Hal : Permohonan Peminjaman Alat**

Kepada Yth,  
Kepala Laboratorium Geofisika  
(Jurusan Fisika FMIPA ITS)  
Di-  
Surabaya

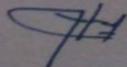
Dengan hormat,

Sehubungan dengan penelitian yang sedang saya lakukan guna menyelesaikan **THESIS** Program Pascasarjana Fisika, maka dengan ini :

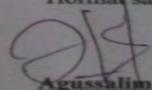
Nama : Agussalim  
NRP : 1112201018  
Jurusan/Fakultas : Fisika / FMIPA  
Judul Penelitian : "Aplikasi Metode Resistivitas Konfigurasi Wenner Untuk Menafsirkan Penyebaran Batuan Situs Purbakala Candi Gambar Wetan Kabupaten Blitar"  
Waktu Penelitian : 20 - 25 Desember 2014

Bermaksud untuk meminjam seperangkat peralatan **Resistivitymeter Tigre Campus** di **Laboratorium Geofisika**. Demikian permohonan saya, atas perhatian dan kerjasamanya saya sampaikan banyak terima kasih.

Mengetahui,  
Dosen Pembimbing

  
**Dr. rer.nat. Eko Minarto, M.Si**  
NIP.19750205 199903 1 004

Hormat saya,

  
**Agussalim**  
NRP: 1112201018



## Lampiran 3 (Data Sheet Wenner)

Data LINTASAN 3 dengan jumlah datum 356.

KODE LOKASI :					METODOLOGI : WENNER						
DESA :											
ELEVASI :					MORFOLOGI :						
TANGGAL :											
CUACA :					LITOLOGI :						
OPERATOR :											
NO.	C1	P1	P2	C2	a	R (ohm)	Error	x	a	P	
1	0	0.5	1	1.5	0.5	388.3	0	0.75	0.5	1219.262	
2	0.5	1	1.5	2	0.5	415.4	0	1.25	0.5	1304.356	
3	1	1.5	2	2.5	0.5	473.5	0	1.75	0.5	1486.79	
4	1.5	2	2.5	3	0.5	437.3	0	2.25	0.5	1373.122	
5	2	2.5	3	3.5	0.5	445.5	0	2.75	0.5	1398.87	
6	2.5	3	3.5	4	0.5	408.1	0	3.25	0.5	1281.434	
7	3	3.5	4	4.5	0.5	480.8	0	3.75	0.5	1509.712	
8	3.5	4	4.5	5	0.5	410.2	0	4.25	0.5	1288.028	
9	4	4.5	5	5.5	0.5	439.2	0	4.75	0.5	1379.088	
10	4.5	5	5.5	6	0.5	444.4	0	5.25	0.5	1395.416	
11	5	5.5	6	6.5	0.5	382.1	0	5.75	0.5	1199.794	
12	5.5	6	6.5	7	0.5	457.9	0	6.25	0.5	1437.806	
13	6	6.5	7	7.5	0.5	455.9	0	6.75	0.5	1431.526	
14	6.5	7	7.5	8	0.5	437.2	0	7.25	0.5	1372.808	
15	7	7.5	8	8.5	0.5	484.9	0	7.75	0.5	1522.586	
16	7.5	8	8.5	9	0.5	483.9	0	8.25	0.5	1519.446	
17	8	8.5	9	9.5	0.5	537.9	0	8.75	0.5	1689.006	
18	8.5	9	9.5	10	0.5	610.6	0	9.25	0.5	1917.284	
19	9	9.5	10	10.5	0.5	616.8	0	9.75	0.5	1936.752	
20	9.5	10	10.5	11	0.5	618.9	0	10.25	0.5	1943.346	
21	10	10.5	11	11.5	0.5	677.1	0	10.75	0.5	2126.094	
22	10.5	11	11.5	12	0.5	583.6	0	11.25	0.5	1832.504	
23	11	11.5	12	12.5	0.5	549.3	0	11.75	0.5	1724.802	
24	11.5	12	12.5	13	0.5	543.1	0	12.25	0.5	1705.334	
25	12	12.5	13	13.5	0.5	468.3	0	12.75	0.5	1470.462	
26	12.5	13	13.5	14	0.5	468.3	0	13.25	0.5	1470.462	
27	13	13.5	14	14.5	0.5	418.5	0	13.75	0.5	1314.09	
28	13.5	14	14.5	15	0.5	420.5	0	14.25	0.5	1320.37	
29	14	14.5	15	15.5	0.5	454.8	0	14.75	0.5	1428.072	
30	14.5	15	15.5	16	0.5	418.5	0	15.25	0.5	1314.09	
31	15	15.5	16	16.5	0.5	420.5	0	15.75	0.5	1320.37	
32	15.5	16	16.5	17	0.5	450.7	0	16.25	0.5	1415.198	
33	16	16.5	17	17.5	0.5	443.4	0	16.75	0.5	1392.276	

34	16.5	17	17.5	18	0.5	407	0	17.25	0.5	1277.98
35	17	17.5	18	18.5	0.5	544.1	0	17.75	0.5	1708.474
36	17.5	18	18.5	19	0.5	476.6	0	18.25	0.5	1496.524
37	18	18.5	19	19.5	0.5	544.1	0	18.75	0.5	1708.474
38	18.5	19	19.5	20	0.5	504.7	0	19.25	0.5	1584.758
39	19	19.5	20	20.5	0.5	407	0	19.75	0.5	1277.98
40	19.5	20	20.5	21	0.5	506.7	0	20.25	0.5	1591.038
41	20	20.5	21	21.5	0.5	355.1	0	20.75	0.5	1115.014
42	20.5	21	21.5	22	0.5	422.6	0	21.25	0.5	1326.964
43	21	21.5	22	22.5	0.5	324	0	21.75	0.5	1017.36
44	21.5	22	22.5	23	0.5	410.2	0	22.25	0.5	1288.028
45	22	22.5	23	23.5	0.5	274.1	0	22.75	0.5	860.674
46	22.5	23	23.5	24	0.5	375.9	0	23.25	0.5	1180.326
47	23	23.5	24	24.5	0.5	366.5	0	23.75	0.5	1150.81
48	23.5	24	24.5	25	0.5	294.9	0	24.25	0.5	925.986
49	24	24.5	25	25.5	0.5	379	0	24.75	0.5	1190.06
50	24.5	25	25.5	26	0.5	286.6	0	25.25	0.5	899.924
51	25	25.5	26	26.5	0.5	351	0	25.75	0.5	1102.14
52	25.5	26	26.5	27	0.5	381.1	0	26.25	0.5	1196.654
53	26	26.5	27	27.5	0.5	360.3	0	26.75	0.5	1131.342
54	26.5	27	27.5	28	0.5	415.4	0	27.25	0.5	1304.356
55	27	27.5	28	28.5	0.5	413.3	0	27.75	0.5	1297.762
56	27.5	28	28.5	29	0.5	447.5	0	28.25	0.5	1405.15
57	28	28.5	29	29.5	0.5	433	0	28.75	0.5	1359.62
58	28.5	29	29.5	30	0.5	459	0	29.25	0.5	1441.26
59	29	29.5	30	30.5	0.5	471.4	0	29.75	0.5	1480.196
60	29.5	30	30.5	31	0.5	401.8	0	30.25	0.5	1261.652
61	30	30.5	31	31.5	0.5	467.3	0	30.75	0.5	1467.322
62	30.5	31	31.5	32	0.5	399.8	0	31.25	0.5	1255.372
63	31	31.5	32	32.5	0.5	577.4	0	31.75	0.5	1813.036
64	31.5	32	32.5	33	0.5	348.9	0	32.25	0.5	1095.546
65	32	32.5	33	33.5	0.5	459	0	32.75	0.5	1441.26
66	32.5	33	33.5	34	0.5	344.7	0	33.25	0.5	1082.358
67	33	33.5	34	34.5	0.5	325	0	33.75	0.5	1020.5
68	33.5	34	34.5	35	0.5	292.4	0	34.25	0.5	918.136
69	34	34.5	35	35.5	0.5	301.1	0	34.75	0.5	945.454
70	34.5	35	35.5	36	0.5	383.2	0	35.25	0.5	1203.248
71	35	35.5	36	36.5	0.5	405	0	35.75	0.5	1271.7
72	35.5	36	36.5	37	0.5	307.3	0	36.25	0.5	964.922
73	36	36.5	37	37.5	0.5	584.6	0	36.75	0.5	1835.644
74	36.5	37	37.5	38	0.5	174.8	0	37.25	0.5	548.872
75	37	37.5	38	38.5	0.5	429.9	0	37.75	0.5	1349.886
76	37.5	38	38.5	39	0.5	212.2	0	38.25	0.5	666.308
77	38	38.5	39	39.5	0.5	177.9	0.1	38.75	0.5	558.606
78	38.5	39	39.5	40	0.5	342.7	0.3	39.25	0.5	1076.078

79	39	39.5	40	40.5	0.5	265.8	0	39.75	0.5	834.612
80	39.5	40	40.5	41	0.5	385.2	0	40.25	0.5	1209.528
81	40	40.5	41	41.5	0.5	193.1	0	40.75	0.5	606.334
82	40.5	41	41.5	42	0.5	465.2	0	41.25	0.5	1460.728
83	41	41.5	42	42.5	0.5	318.8	0	41.75	0.5	1001.032
84	41.5	42	42.5	43	0.5	268.4	0.1	42.25	0.5	842.776
85	42	42.5	43	43.5	0.5	356.2	0	42.75	0.5	1118.468
86	42.5	43	43.5	44	0.5	246.8	0	43.25	0.5	774.952
87	43	43.5	44	44.5	0.5	350	0	43.75	0.5	1099
88	43.5	44	44.5	45	0.5	357.2	0	44.25	0.5	1121.608
89	44	44.5	45	45.5	0.5	455.9	0	44.75	0.5	1431.526
90	44.5	45	45.5	46	0.5	407.8	0	45.25	0.5	1280.492
91	45	45.5	46	46.5	0.5	504.7	0	45.75	0.5	1584.758
92	45.5	46	46.5	47	0.5	611.6	0	46.25	0.5	1920.424
93	46	46.5	47	47.5	0.5	503.6	0	46.75	0.5	1581.304
94	46.5	47	47.5	48	0.5	643.8	0	47.25	0.5	2021.532
95	47	47.5	48	48.5	0.5	579.4	0	47.75	0.5	1819.316
96	47.5	48	48.5	49	0.5	523.4	0	48.25	0.5	1643.476
97	48	48.5	49	49.5	0.5	631.4	0	48.75	0.5	1982.596
98	48.5	49	49.5	50	0.5	460	0	49.25	0.5	1444.4
99	0	1.5	3	4.5	1.5	66.07	0	2.25	1.5	622.3794
100	0.5	2	3.5	5	1.5	66.07	0	2.75	1.5	622.3794
101	1	2.5	4	5.5	1.5	65.45	0	3.25	1.5	616.539
102	1.5	3	4.5	6	1.5	67.32	0	3.75	1.5	634.1544
103	2	3.5	5	6.5	1.5	73.77	0	4.25	1.5	694.9134
104	2.5	4	5.5	7	1.5	68.78	0.4	4.75	1.5	647.9076
105	3	4.5	6	7.5	1.5	62.64	0	5.25	1.5	590.0688
106	3.5	5	6.5	8	1.5	72.11	0	5.75	1.5	679.2762
107	4	5.5	7	8.5	1.5	79.81	0	6.25	1.5	751.8102
108	4.5	6	7.5	9	1.5	93.23	0.5	6.75	1.5	878.2266
109	5	6.5	8	9.5	1.5	80.85	0	7.25	1.5	761.607
110	5.5	7	8.5	10	1.5	75.85	0	7.75	1.5	714.507
111	6	7.5	9	10.5	1.5	78.25	0.3	8.25	1.5	737.115
112	6.5	8	9.5	11	1.5	86.05	0.1	8.75	1.5	810.591
113	7	8.5	10	11.5	1.5	86.57	0	9.25	1.5	815.4894
114	7.5	9	10.5	12	1.5	93.13	0.1	9.75	1.5	877.2846
115	8	9.5	11	12.5	1.5	101.3	0.5	10.25	1.5	954.246
116	8.5	10	11.5	13	1.5	100	0	10.75	1.5	942
117	9	10.5	12	13.5	1.5	84.8	0	11.25	1.5	798.816
118	9.5	11	12.5	14	1.5	83.14	0	11.75	1.5	783.1788
119	10	11.5	13	14.5	1.5	80.02	0	12.25	1.5	753.7884
120	10.5	12	13.5	15	1.5	91.15	0	12.75	1.5	858.633
121	11	12.5	14	15.5	1.5	77.94	0	13.25	1.5	734.1948
122	11.5	13	14.5	16	1.5	74.81	0.2	13.75	1.5	704.7102
123	12	13.5	15	16.5	1.5	72	0.2	14.25	1.5	678.24

124	12.5	14	15.5	17	1.5	72.52	0.1	14.75	1.5	683.1384
125	13	14.5	16	17.5	1.5	68.99	0	15.25	1.5	649.8858
126	13.5	15	16.5	18	1.5	65.76	0	15.75	1.5	619.4592
127	14	15.5	17	18.5	1.5	90.42	0.1	16.25	1.5	851.7564
128	14.5	16	17.5	19	1.5	77.83	0.1	16.75	1.5	733.1586
129	15	16.5	18	19.5	1.5	73.46	0	17.25	1.5	691.9932
130	15.5	17	18.5	20	1.5	65.34	0	17.75	1.5	615.5028
131	16	17.5	19	20.5	1.5	60.14	0	18.25	1.5	566.5188
132	16.5	18	19.5	21	1.5	54	0	18.75	1.5	508.68
133	17	18.5	20	21.5	1.5	53.06	0.4	19.25	1.5	499.8252
134	17.5	19	20.5	22	1.5	56.5	0	19.75	1.5	532.23
135	18	19.5	21	22.5	1.5	50.26	0.3	20.25	1.5	473.4492
136	18.5	20	21.5	23	1.5	59.21	0	20.75	1.5	557.7582
137	19	20.5	22	23.5	1.5	48.28	0.1	21.25	1.5	454.7976
138	19.5	21	22.5	24	1.5	60.36	0	21.75	1.5	568.5912
139	20	21.5	23	24.5	1.5	52.5	0	22.25	1.5	494.55
140	20.5	22	23.5	25	1.5	54.15	0	22.75	1.5	510.093
141	21	22.5	24	25.5	1.5	50.57	0.1	23.25	1.5	476.3694
142	21.5	23	24.5	26	1.5	52.23	0.1	23.75	1.5	492.0066
143	22	23.5	25	26.5	1.5	56.29	0	24.25	1.5	530.2518
144	22.5	24	25.5	27	1.5	51.71	0	24.75	1.5	487.1082
145	23	24.5	26	27.5	1.5	49.94	0.1	25.25	1.5	470.4348
146	23.5	25	26.5	28	1.5	51.09	0.1	25.75	1.5	481.2678
147	24	25.5	27	28.5	1.5	68.36	0	26.25	1.5	643.9512
148	24.5	26	27.5	29	1.5	73.15	0	26.75	1.5	689.073
149	25	26.5	28	29.5	1.5	66.8	0	27.25	1.5	629.256
150	25.5	27	28.5	30	1.5	55.15	0	27.75	1.5	519.513
151	26	27.5	29	30.5	1.5	49.53	0.3	28.25	1.5	466.5726
152	26.5	28	29.5	31	1.5	59.32	0	28.75	1.5	558.7944
153	27	28.5	30	31.5	1.5	71.69	0.1	29.25	1.5	675.3198
154	27.5	29	30.5	32	1.5	69.66	0.1	29.75	1.5	656.1972
155	28	29.5	31	32.5	1.5	50.05	0	30.25	1.5	471.471
156	28.5	30	31.5	33	1.5	41.31	0	30.75	1.5	389.1402
157	29	30.5	32	33.5	1.5	60.77	0.2	31.25	1.5	572.4534
158	29.5	31	32.5	34	1.5	95.11	0.1	31.75	1.5	895.9362
159	30	31.5	33	34.5	1.5	101.6	0.1	32.25	1.5	957.072
160	30.5	32	33.5	35	1.5	36.31	0	32.75	1.5	342.0402
161	31	32.5	34	35.5	1.5	45.99	0.2	33.25	1.5	433.2258
162	31.5	33	34.5	36	1.5	47.86	0.2	33.75	1.5	450.8412
163	32	33.5	35	36.5	1.5	67.53	0.1	34.25	1.5	636.1326
164	32.5	34	35.5	37	1.5	53.07	0	34.75	1.5	499.9194
165	33	34.5	36	37.5	1.5	45.52	0.1	35.25	1.5	428.7984
166	33.5	35	36.5	38	1.5	16.03	0.1	35.75	1.5	151.0026
167	34	35.5	37	38.5	1.5	24.97	0.1	36.25	1.5	235.2174
168	34.5	36	37.5	39	1.5	34.55	0	36.75	1.5	325.461

169	35	36.5	38	39.5	1.5	57.33	0.1	37.25	1.5	540.0486
170	35.5	37	38.5	40	1.5	46.2	0	37.75	1.5	435.204
171	36	37.5	39	40.5	1.5	48.49	0	38.25	1.5	456.7758
172	36.5	38	39.5	41	1.5	50.05	0.1	38.75	1.5	471.471
173	37	38.5	40	41.5	1.5	38.71	0	39.25	1.5	364.6482
174	37.5	39	40.5	42	1.5	43.07	0	39.75	1.5	405.7194
175	38	39.5	41	42.5	1.5	33.6	0	40.25	1.5	316.512
176	38.5	40	41.5	43	1.5	93.23	0	40.75	1.5	878.2266
177	39	40.5	42	43.5	1.5	64.49	0.2	41.25	1.5	607.4958
178	39.5	41	42.5	44	1.5	66.8	0	41.75	1.5	629.256
179	40	41.5	43	44.5	1.5	43.69	0.1	42.25	1.5	411.5598
180	40.5	42	43.5	45	1.5	35.9	0	42.75	1.5	338.178
181	41	42.5	44	45.5	1.5	68.67	0	43.25	1.5	646.8714
182	41.5	43	44.5	46	1.5	98.23	0	43.75	1.5	925.3266
183	42	43.5	45	46.5	1.5	63.26	0.2	44.25	1.5	595.9092
184	42.5	44	45.5	47	1.5	41.51	0	44.75	1.5	391.0242
185	43	44.5	46	47.5	1.5	51.82	0	45.25	1.5	488.1444
186	43.5	45	46.5	48	1.5	66.59	0.1	45.75	1.5	627.2778
187	44	45.5	47	48.5	1.5	70.24	0	46.25	1.5	661.6608
188	44.5	46	47.5	49	1.5	73.15	0	46.75	1.5	689.073
189	45	46.5	48	49.5	1.5	71.28	0.1	47.25	1.5	671.4576
190	45.5	47	48.5	50	1.5	25.44	0	47.75	1.5	239.6448
191	0	2.5	5	7.5	2.5	32.67	0	3.75	2.5	512.919
192	0.5	3	5.5	8	2.5	33.19	0.3	4.25	2.5	521.083
193	1	3.5	6	8.5	2.5	32.15	0	4.75	2.5	504.755
194	1.5	4	6.5	9	2.5	34.54	0	5.25	2.5	542.278
195	2	4.5	7	9.5	2.5	38.71	0	5.75	2.5	607.747
196	2.5	5	7.5	10	2.5	38.19	0.3	6.25	2.5	599.583
197	3	5.5	8	10.5	2.5	38.6	0	6.75	2.5	606.02
198	3.5	6	8.5	11	2.5	35.38	0.1	7.25	2.5	555.466
199	4	6.5	9	11.5	2.5	33.19	0	7.75	2.5	521.083
200	4.5	7	9.5	12	2.5	34.13	0.1	8.25	2.5	535.841
201	5	7.5	10	12.5	2.5	31.11	0	8.75	2.5	488.427
202	5.5	8	10.5	13	2.5	35.27	0	9.25	2.5	553.739
203	6	8.5	11	13.5	2.5	41.62	0.1	9.75	2.5	653.434
204	6.5	9	11.5	14	2.5	42.35	0.1	10.25	2.5	664.895
205	7	9.5	12	14.5	2.5	39.75	0	10.75	2.5	624.075
206	7.5	10	12.5	15	2.5	44.53	0	11.25	2.5	699.121
207	8	10.5	13	15.5	2.5	41.31	0	11.75	2.5	648.567
208	8.5	11	13.5	16	2.5	36	0	12.25	2.5	565.2
209	9	11.5	14	16.5	2.5	35.38	0	12.75	2.5	555.466
210	9.5	12	14.5	17	2.5	38.08	0	13.25	2.5	597.856
211	10	12.5	15	17.5	2.5	36.1	0	13.75	2.5	566.77
212	10.5	13	15.5	18	2.5	34.96	0	14.25	2.5	548.872
213	11	13.5	16	18.5	2.5	45.06	0.1	14.75	2.5	707.442

214	11.5	14	16.5	19	2.5	33.09	0.2	15.25	2.5	519.513
215	12	14.5	17	19.5	2.5	32.25	0.1	15.75	2.5	506.325
216	12.5	15	17.5	20	2.5	21.02	0.1	16.25	2.5	330.014
217	13	15.5	18	20.5	2.5	26.84	0.1	16.75	2.5	421.388
218	13.5	16	18.5	21	2.5	31.42	0	17.25	2.5	493.294
219	14	16.5	19	21.5	2.5	24.55	0	17.75	2.5	385.435
220	14.5	17	19.5	22	2.5	30.9	0	18.25	2.5	485.13
221	15	17.5	20	22.5	2.5	28.61	0	18.75	2.5	449.177
222	15.5	18	20.5	23	2.5	27.16	0.2	19.25	2.5	426.412
223	16	18.5	21	23.5	2.5	26.74	0	19.75	2.5	419.818
224	16.5	19	21.5	24	2.5	26.53	0	20.25	2.5	416.521
225	17	19.5	22	24.5	2.5	27.05	0	20.75	2.5	424.685
226	17.5	20	22.5	25	2.5	31.63	0.3	21.25	2.5	496.591
227	18	20.5	23	25.5	2.5	30.17	0.2	21.75	2.5	473.669
228	18.5	21	23.5	26	2.5	31.11	0	22.25	2.5	488.427
229	19	21.5	24	26.5	2.5	29.13	0.1	22.75	2.5	457.341
230	19.5	22	24.5	27	2.5	28.12	0	23.25	2.5	441.484
231	20	22.5	25	27.5	2.5	28.2	0	23.75	2.5	442.74
232	20.5	23	25.5	28	2.5	27.78	0.1	24.25	2.5	436.146
233	21	23.5	26	28.5	2.5	28.4	0	24.75	2.5	445.88
234	21.5	24	26.5	29	2.5	32.92	0.1	25.25	2.5	516.844
235	22	24.5	27	29.5	2.5	29.44	0.2	25.75	2.5	462.208
236	22.5	25	27.5	30	2.5	25.28	0.2	26.25	2.5	396.896
237	23	25.5	28	30.5	2.5	24.62	0.3	26.75	2.5	386.534
238	23.5	26	28.5	31	2.5	26.11	0.5	27.25	2.5	409.927
239	24	26.5	29	31.5	2.5	21.12	0.1	27.75	2.5	331.584
240	24.5	27	29.5	32	2.5	20.49	0.8	28.25	2.5	321.693
241	25	27.5	30	32.5	2.5	25.59	0.2	28.75	2.5	401.763
242	25.5	28	30.5	33	2.5	23.82	0.2	29.25	2.5	373.974
243	26	28.5	31	33.5	2.5	23.3	0.2	29.75	2.5	365.81
244	26.5	29	31.5	34	2.5	26.74	0	30.25	2.5	419.818
245	27	29.5	32	34.5	2.5	29.24	0	30.75	2.5	459.068
246	27.5	30	32.5	35	2.5	25.18	0.2	31.25	2.5	395.326
247	28	30.5	33	35.5	2.5	26.22	0	31.75	2.5	411.654
248	28.5	31	33.5	36	2.5	23.82	0.3	32.25	2.5	373.974
249	29	31.5	34	36.5	2.5	27.15	0	32.75	2.5	426.255
250	29.5	32	34.5	37	2.5	14.88	0	33.25	2.5	233.616
251	30	32.5	35	37.5	2.5	25.18	0.1	33.75	2.5	395.326
252	30.5	33	35.5	38	2.5	20.6	0.4	34.25	2.5	323.42
253	31	33.5	36	38.5	2.5	17.58	0.1	34.75	2.5	276.006
254	31.5	34	36.5	39	2.5	11.96	0	35.25	2.5	187.772
255	32	34.5	37	39.5	2.5	15.19	0.4	35.75	2.5	238.483
256	32.5	35	37.5	40	2.5	3.881	0.4	36.25	2.5	60.9317
257	33	35.5	38	40.5	2.5	9.02	0.3	36.75	2.5	141.614
258	33.5	36	38.5	41	2.5	14.04	0.4	37.25	2.5	220.428

259	34	36.5	39	41.5	2.5	15.4	0.3	37.75	2.5	241.78
260	34.5	37	39.5	42	2.5	20.81	0.2	38.25	2.5	326.717
261	35	37.5	40	42.5	2.5	34.54	0.2	38.75	2.5	542.278
262	35.5	38	40.5	43	2.5	35.17	0.1	39.25	2.5	552.169
263	36	38.5	41	43.5	2.5	32.88	0.1	39.75	2.5	516.216
264	36.5	39	41.5	44	2.5	42.52	0.2	40.25	2.5	667.564
265	37	39.5	42	44.5	2.5	36.52	0	40.75	2.5	573.364
266	37.5	40	42.5	45	2.5	21.95	0.2	41.25	2.5	344.615
267	38	40.5	43	45.5	2.5	17.16	0.1	41.75	2.5	269.412
268	38.5	41	43.5	46	2.5	20.08	0.1	42.25	2.5	315.256
269	39	41.5	44	46.5	2.5	10.97	0	42.75	2.5	172.229
270	39.5	42	44.5	47	2.5	13.42	0.1	43.25	2.5	210.694
271	40	42.5	45	47.5	2.5	22.99	0.5	43.75	2.5	360.943
272	40.5	43	45.5	48	2.5	24.14	0.4	44.25	2.5	378.998
273	41	43.5	46	48.5	2.5	47	0.2	44.75	2.5	737.9
274	41.5	44	46.5	49	2.5	28.92	0.2	45.25	2.5	454.044
275	42	44.5	47	49.5	2.5	30.69	0	45.75	2.5	481.833
276	42.5	45	47.5	50	2.5	25.55	0.5	46.25	2.5	401.135
277	0	3.5	7	10.5	3.5	33.02	0	5.25	3.5	725.7796
278	0.5	4	7.5	11	3.5	32.19	0	5.75	3.5	707.5362
279	1	4.5	8	11.5	3.5	30.53	0	6.25	3.5	671.0494
280	1.5	5	8.5	12	3.5	30.28	0	6.75	3.5	665.5544
281	2	5.5	9	12.5	3.5	31.25	0	7.25	3.5	686.875
282	2.5	6	9.5	13	3.5	33.64	0	7.75	3.5	739.4072
283	3	6.5	10	13.5	3.5	33.54	0.1	8.25	3.5	737.2092
284	3.5	7	10.5	14	3.5	35.3	0	8.75	3.5	775.894
285	4	7.5	11	14.5	3.5	44.75	0	9.25	3.5	983.605
286	4.5	8	11.5	15	3.5	54.1	0.2	9.75	3.5	1189.118
287	5	8.5	12	15.5	3.5	38.21	0	10.25	3.5	839.8558
288	5.5	9	12.5	16	3.5	41.43	0	10.75	3.5	910.6314
289	6	9.5	13	16.5	3.5	46.83	0.1	11.25	3.5	1029.323
290	6.5	10	13.5	17	3.5	48.17	0	11.75	3.5	1058.777
291	7	10.5	14	17.5	3.5	48.97	0.5	12.25	3.5	1076.361
292	7.5	11	14.5	18	3.5	62.62	0	12.75	3.5	1376.388
293	8	11.5	15	18.5	3.5	38.5	0.2	13.25	3.5	846.23
294	8.5	12	15.5	19	3.5	35.62	0.5	13.75	3.5	782.9276
295	9	12.5	16	19.5	3.5	25.33	0	14.25	3.5	556.7534
296	9.5	13	16.5	20	3.5	12.07	0	14.75	3.5	265.2986
297	10	13.5	17	20.5	3.5	12.17	0	15.25	3.5	267.4966
298	10.5	14	17.5	21	3.5	12.27	0	15.75	3.5	269.6946
299	11	14.5	18	21.5	3.5	19.56	0.1	16.25	3.5	429.9288
300	11.5	15	18.5	22	3.5	19.87	0.3	16.75	3.5	436.7426
301	12	15.5	19	22.5	3.5	22.06	0	17.25	3.5	484.8788
302	12.5	16	19.5	23	3.5	27.36	0	17.75	3.5	601.3728
303	13	16.5	20	23.5	3.5	27.47	0.1	18.25	3.5	603.7906

304	13.5	17	20.5	24	3.5	30.28	0	18.75	3.5	665.5544
305	14	17.5	21	24.5	3.5	22.58	0.2	19.25	3.5	496.3084
306	14.5	18	21.5	25	3.5	24.51	0.6	19.75	3.5	538.7298
307	15	18.5	22	25.5	3.5	22.01	0.5	20.25	3.5	483.7798
308	15.5	19	22.5	26	3.5	20.2	0.8	20.75	3.5	443.996
309	16	19.5	23	26.5	3.5	17.79	0.4	21.25	3.5	391.0242
310	16.5	20	23.5	27	3.5	22.99	0.2	21.75	3.5	505.3202
311	17	20.5	24	27.5	3.5	34.96	0	22.25	3.5	768.4208
312	17.5	21	24.5	28	3.5	26.22	0	22.75	3.5	576.3156
313	18	21.5	25	28.5	3.5	25.59	0	23.25	3.5	562.4682
314	18.5	22	25.5	29	3.5	15.6	0	23.75	3.5	342.888
315	19	22.5	26	29.5	3.5	14.77	0	24.25	3.5	324.6446
316	19.5	23	26.5	30	3.5	15.81	0	24.75	3.5	347.5038
317	20	23.5	27	30.5	3.5	16.96	0	25.25	3.5	372.7808
318	20.5	24	27.5	31	3.5	17.69	0	25.75	3.5	388.8262
319	21	24.5	28	31.5	3.5	19.35	0	26.25	3.5	425.313
320	21.5	25	28.5	32	3.5	14.04	0.2	26.75	3.5	308.5992
321	22	25.5	29	32.5	3.5	13.73	0.1	27.25	3.5	301.7854
322	22.5	26	29.5	33	3.5	15.92	0.2	27.75	3.5	349.9216
323	23	26.5	30	33.5	3.5	16.12	0.1	28.25	3.5	354.3176
324	23.5	27	30.5	34	3.5	16.85	0	28.75	3.5	370.363
325	24	27.5	31	34.5	3.5	17.69	0	29.25	3.5	388.8262
326	24.5	28	31.5	35	3.5	14.88	0	29.75	3.5	327.0624
327	25	28.5	32	35.5	3.5	20.49	0	30.25	3.5	450.3702
328	25.5	29	32.5	36	3.5	20.81	0	30.75	3.5	457.4038
329	26	29.5	33	36.5	3.5	21.43	0	31.25	3.5	471.0314
330	26.5	30	33.5	37	3.5	23.3	0.8	31.75	3.5	512.134
331	27	30.5	34	37.5	3.5	22.37	0.4	32.25	3.5	491.6926
332	27.5	31	34.5	38	3.5	21.85	0.6	32.75	3.5	480.263
333	28	31.5	35	38.5	3.5	27.47	0	33.25	3.5	603.7906
334	28.5	32	35.5	39	3.5	17.58	0	33.75	3.5	386.4084
335	29	32.5	36	39.5	3.5	11.86	0	34.25	3.5	260.6828
336	29.5	33	36.5	40	3.5	7.211	0.3	34.75	3.5	158.4978
337	30	33.5	37	40.5	3.5	7.159	0.2	35.25	3.5	157.3548
338	30.5	34	37.5	41	3.5	4.037	0.2	35.75	3.5	88.73326
339	31	34.5	38	41.5	3.5	1.363	0.4	36.25	3.5	29.95874
340	31.5	35	38.5	42	3.5	4.401	0.3	36.75	3.5	96.73398
341	32	35.5	39	42.5	3.5	7.606	0.2	37.25	3.5	167.1799
342	32.5	36	39.5	43	3.5	11.23	0.2	37.75	3.5	246.8354
343	33	36.5	40	43.5	3.5	19.35	0.3	38.25	3.5	425.313
344	33.5	37	40.5	44	3.5	24.03	0	38.75	3.5	528.1794
345	34	37.5	41	44.5	3.5	27.26	0	39.25	3.5	599.1748
346	34.5	38	41.5	45	3.5	33.95	0.1	39.75	3.5	746.221
347	35	38.5	42	45.5	3.5	33.5	0.3	40.25	3.5	736.33
348	35.5	39	42.5	46	3.5	27.05	0.1	40.75	3.5	594.559

349	36	39.5	43	46.5	3.5	20.18	0.1	41.25	3.5	443.5564
350	36.5	40	43.5	47	3.5	16.33	0.3	41.75	3.5	358.9334
351	37	40.5	44	47.5	3.5	13.83	0	42.25	3.5	303.9834
352	37.5	41	44.5	48	3.5	10.4	0.4	42.75	3.5	228.592
353	38	41.5	45	48.5	3.5	4.599	0	43.25	3.5	101.086
354	38.5	42	45.5	49	3.5	5.556	0.1	43.75	3.5	122.1209
355	39	42.5	46	49.5	3.5	9.937	0.5	44.25	3.5	218.4153
356	39.5	43	46.5	50	3.5	12.38	0.4	44.75	3.5	272.1124

## DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1	Dokumentasi Kegiatan Penelitian.....	47
Lampiran 2	Administrasi Persuratan.....	51
Lampiran 3	Data Sheet Wenner. ....	55

Halaman ini sengaja dikosongkan

## DAFTAR PUSTAKA

- Baskoro, DT. (2007), “*Candi Losari: Sebuah Candi di Kawasan Borobudur*”, Yogyakarta.
- Brunet, P., Clement, R., and Bouvier, C. (2010), “Monitoring soil water content and deficit using Electrical Resistivity\* Tomography (ERT) – A case study in the Cevennes area, France. *Journal of Hydrology* vol. 380, pp 146-153”.
- Campus International Product, Ltd (1999), *Geopulse Tiger Resistivity-meter User's Manual*, 17-19 Taylor Street Luton Bedfordshire, England.
- Djoko, S (2002), *Pengantar Teknik Geofisika*, Penerbit ITB, Bandung.
- Hendrajaya, L. dan Arif, L, (1990), *Geolistrik Tahanan Jenis*, Monografi : Metoda Eksplorasi, Laboratorium Fisika Bumi, Institut Teknologi Bandung.
- Jayanti, (2012), “*Identifikasi Situs Candi Bukit Carang, Karanganyar Menggunakan Metode Geolistrik Tahanan Jenis Konfigurasi Dipole-dipole*, Indonesian Journal Of Applied Physics 2012, vol.2”.
- Johansson, S., Dahlin, T., (1996), “Seepage monitoring in an earth embankment dam by repeated resistivity measurements. *European Journal of Engineering and Environmental Geophysics 1*, vol. 3, pp. 229 – 247”.
- Johansson, S. (1997), “*Seepage monitoring in embankment dams*. Doctoral Thesis, TRITAAMIPHD 1014, Royal Institute of Technology, Stockholm”.
- Loke, M.H. (1996), *Tutorial : 2-D and 3-D electrical imaging surveys*.
- Loke, M.H. and Barker, R.D., (1996), *Rapid Least-Squares Inversion of Apparent Resistivity Pseudo-section by A Quasi-Newton Method*, *Geophysical Prospecting*, 44, 131-152.
- Loke M.H., (2000), “*Topographic Modelling in Electrical Imaging Inversion*, abstract for the EAGE 62<sup>nd</sup> Conference and Technical Exhibition Glasgow, Scotland, 29 May – 2 June”.
- Miller, C.R., Routh, S.R., Brosten, R.T., McNamara, J.P., (2008), “*Application of time-lapse ERT imaging to watershed characterization*, *Geophysics* 73, G7-G17.”
- Palacky, G.V., (1987), “*Resistivity characteristics of geologic targets, in Electromagnetic Methods in Applied Geophysics*, Vol 1, Theory, 1351”.
- Robert, L.S and Raymond, J.K (1978), Special Report 176, *Landslides, Analysis and*

Control, Transportation Research Board, National Academy of Science, Washington D.C.

- Roynold J. M., (1997), *An Introduction to Applied and Environmental Geophysics*, John Wiley and Sons Ltd., New York.
- Samouëlian, A., Cousin, I., Tabbagh, A., Bruand, A., Richard G., (2005), "Electrical resistivity survey in soil science. *Soil and Tillage Research*, Volume 83, Issue 2, September 2005, pp. 173-193".
- Sato and Money, (1960), *the Electrochemical Mechanism of Sulphida Self Potential*, *Geophysics*, Vol. XXV, pp. 226-246.
- Sharma, Prem. V., (1997), "*Environmental and Engineering Geophysics*: Cambridge University Press".
- Singgih, P., Wahyono, S.C. dan Utama, W., (2003), *Penentuan Distribusi Tahanan Jenis Struktur Bawah Permukaan Daerah Rawan Longsor di Desa Lumbang Rejo, Prigen Menggunakan Metode Geolistrik 2D dan 3D*, Prosiding Seminar Nasional dan Aplikasinya, Jurusan Fisika FMIPA ITS, Surabaya.
- Sjödahl, P., Zhou, B., Dahlin, T., (2006), "2.5D Resistivity Modeling of Embankment Dams to Assess Influence from Geometry and Material Properties. *Geophysics* 71, pp. 107 – 114".
- Soekmono, (1990), "*Candi, Fungsi dan Pengertiannya*. Semarang: IKIP Semarang Press.
- Telford, W.M., Geldart, L.P., and Sheriff, R.E., (1990), "*Applied Geophysics*". Cambridge University Press, London.
- Tim Pelestarian Cagar Budaya Mojokerto, (2014), "*Proses Ekskavasi Candi Gambar Wetan Blitar*, BPCP, Mojokerto.
- Ugwu, G.S., Ezema, P.O., (2014), "Seepage monitoring in an earth embankment dam by repeated resistivity measurements. *Asian Journal Of Science and Technology*, vol.5, issue:3, pp.260-264".
- Ullrich, B. Ganther, T. (2007), "*Electrical Resistivity Tomography Methods For Archeological Prospection*.
- Van Bemmelen, R.W., (1949), "*The Geology of Indonesia*. Volume 1A, Government Printing Office, The Hague, Netherlands".
- Wahyono, S.C., (2004), *Penentuan Bidang Gelincir Pada Daerah Rawan Longsor Dengan Metode Geolistrik 2-D di Desa Lumbang Rejo, Prigen, Pasuruan*, Jurusan Fisika FMIPA ITS, Surabaya.

## BIOGRAFI PENULIS



**AGUSSALIM**, dilahirkan pada tanggal, 19 Januari 1989 di Kel. Tanuntung, Kec. Herlang, Kabupaten Bulukumba dan merupakan anak ke-2 (dua) dari 2 (dua) bersaudara. Lahir dari pasangan serasi M. Rusming S.Pd dengan Nursiah. Penulis mulai mengecap jenjang pendidikan pada tahun 1994 di TK. Surya Banyoro dan tamat tahun 1995, di tahun yang sama melanjutkan pendidikan di SDN No.131 Bonto Bana tamat tahun 2001. Selanjutnya penulis melanjutkan ke Sekolah Menengah Pertama Negeri (SMPN) 1 Bulukumba, dan lulus di SMP pada tahun 2004. Tahun 2004 melanjutkan Sekolah di SMAN 1 Bulukumba tamat tahun 2007. Universitas Negeri Makassar adalah kampus yang menjadi pilihan untuk melanjutkan studi dan akhirnya melalui jalur Penerimaan Mahasiswa Jalur Khusus (PMJK) tahun 2007 penulis diterima di Jurusan Fisika, Program Studi Fisika. Selanjutnya memilih KBK Fisika Bumi. Penulis juga tercatat sebagai penerima beasiswa prestasi PPA DIKTI sejak tahun 2009 sampai 2011. Pada tahun 2012 penulis diterima sebagai mahasiswa Program Pascasarjana Prodi S2 Fisika ITS dengan program Beasiswa Unggulan (BU DIKTI 2012) dan memilih bidang peminatan Fisika Bumi. Keseharian penulis selain diisi dengan mengikuti kegiatan akademis yang memang telah menjadi tugas utama, penulis juga banyak menghabiskan waktu untuk mengikuti kegiatan kemahasiswaan dan bergelut di organisasi internal dan eksternal kampus selama perkuliahan program Sarjana (S1), sebagai berikut:

- **Internal kampus,**
  - ✓ Staf Bidang Pengabdian Masyarakat Himpunan Mahasiswa Fisika (HIMAFI FMIPA UNM) Periode 2008-2009
  - ✓ Ketua Umum HIMAFI FMIPA UNM Periode 2009-2010
  - ✓ Koordinator Pengawas Organisasi HIMAFI FMIPA UNM Periode 2010-2011
  - ✓ Koordinator Kecamatan (KORCAM) KKN Reguler mahasiswa UNM angkatan XXIV Kecamatan Cenrana, Kabupaten Maros tahun 2011.
  - ✓ Anggota Lembaga Penelitian Mahasiswa PENALARAN UNM sejak 2009.

- ✓ Staff Divisi Bidang Pengembangan Organisasi Pengurus Pusat Ikatan Sivitas Fisika (ISFI UNM) Periode 2012-2013.
- **Eksternal kampus,**
  - ✓ Pengurus HMI Komisariat MIPA UNM Cabang Makassar.
  - ✓ Pengurus Kerukunan Keluarga Mahasiswa Bulukumba (KKMB) Kom. UNM periode 2009-2011.
  - ✓ Pengurus Ikatan Pelajar Mahasiswa Bulukumba (IPMAH) Kom. Herlang periode 2010-2011.

Selama menempuh program pendidikan pascasarjana (S2) di Surabaya, penulis juga aktif dalam lembaga Ikatan Kekeluargaan Mahasiswa/Pelajar Indonesia (IKAMI SULSEL) Cabang Surabaya. Penulis pernah diamanahkan menjadi Badan Perumus (BP) pada Musyawarah Cabang IKAMI SULSEL Cabang Surabaya tahun 2013.