

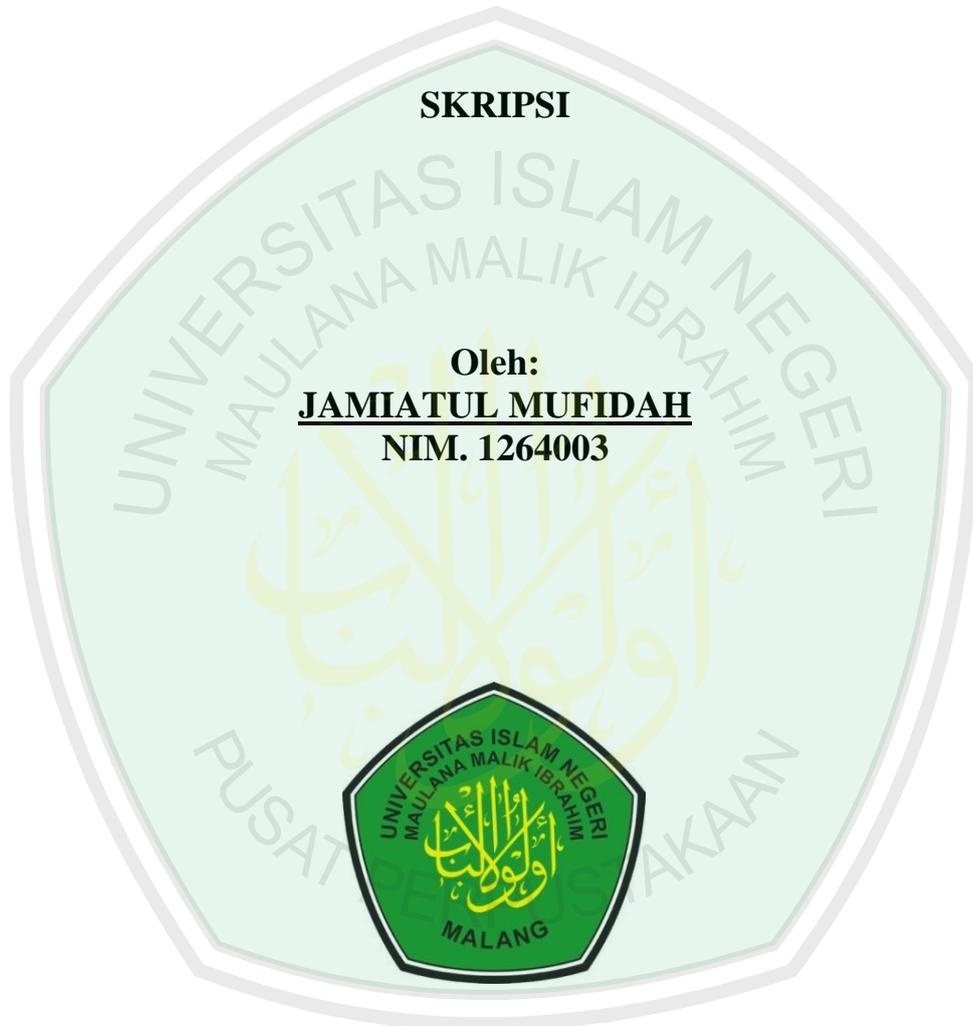
**APLIKASI METODE GEOLISTRIK 3D UNTUK MENENTUKAN
SITUS ARKEOLOGI BITING BLOK SALAK DI DESA
KUTORENON KECAMATAN SUKODONO
LUMAJANG JAWA TIMUR**

SKRIPSI

Oleh:

JAMIATUL MUFIDAH

NIM. 1264003



**JURUSAN FISIKA
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI MAULANA MALIK IBRAHIM
MALANG
2016**

**APLIKASI METODE GEOLISTRIK 3D UNTUK MENENTUKAN SITUS
ARKEOLOGI BITING BLOK SALAK DI DESA KUTORENON
KECAMATAN SUKODONO LUMAJANG JAWA TIMUR**

SKRIPSI

Diajukan kepada:

**Fakultas Sains dan Teknologi
Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang
Untuk Memenuhi Salah Satu Persyaratan Dalam
Memperoleh Gelar Sarjana Sains (S.Si)**

Oleh:

JAMIATUL MUFIDAH

NIM. 12640003

**JURUSAN FISIKA
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI MAULANA MALIK IBRAHIM
MALANG
2016**

HALAMAN PERSETUJUAN

**APLIKASI METODE GEOLISTRIK 3D UNTUK MENENTUKAN SITUS
ARKEOLOGI BITING BLOK SALAK DI DESA KUTORENON
KECAMATAN SUKODONO LUMAJANG JAWA TIMUR**

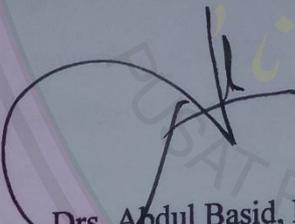
SKRIPSI

Oleh:
JAMIATUL MUFIDAH
NIM. 12640003

Telah Diperiksa dan Disetujui untuk Diuji:
Tanggal : 02 September 2016

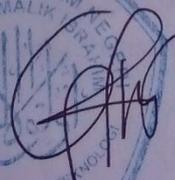
Pembimbing I,

Pembimbing II,


Drs. Abdul Basid, M.Si
NIP. 19650504 199003 1 003


Umayyatus Syarifah, M.A
NIP. 19820925 200901 2 005

Mengetahui,
Ketua Jurusan Fisika



Erna Hastuti, M.Si
NIP. 19811119 200801 2 009

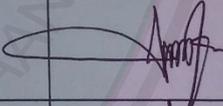
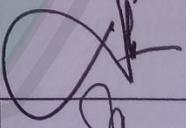
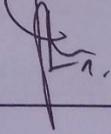
HALAMAN PENGESAHAN

APLIKASI METODE GEOLISTRIK 3D UNTUK MENENTUKAN SITUS
ARKEOLOGI BITING BLOK SALAK DI DESA KUTORENON
KECAMATAN SUKODONO LUMAJANG JAWA TIMUR

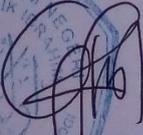
SKRIPSI

Oleh:
JAMIATUL MUFIDAH
NIM. 12640003

Telah Dipertahankan di Depan Dewan Penguji Skripsi dan
Dinyatakan Diterima Sebagai Salah Satu Persyaratan
Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Sains (S.Si)
Tanggal: 02 September 2016

Penguji Utama	: <u>Irjan, M.Si</u> NIP. 19691231 200604 1 003	
Ketua Penguji	: <u>Erika Rani, M.Si</u> NIP. 19810613 200604 2 002	
Sekretaris Penguji	: <u>Drs. Abdul Basid, M.Si</u> NIP. 19650504 199003 1 003	
Anggota Penguji	: <u>Umaiatus Syarifah, M.A</u> NIP. 19820925 200901 2 005	

Mengesahkan,
Ketua Jurusan Fisika


Erna Hastuti, M.Si
NIP. 19811119 200801 2 009

PERNYATAAN KEASLIAN TULISAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : JAMIATUL MUFIDAH

NIM : 12640003

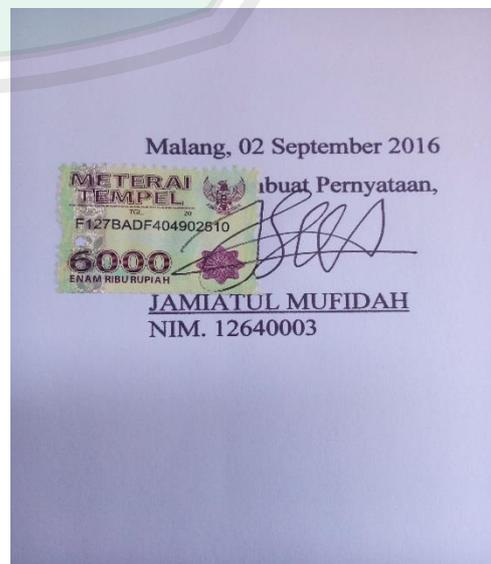
Jurusan : FISIKA

Fakultas : SAINS DAN TEKNOLOGI

Judul Penelitian : Aplikasi Metode Geolistrik 3d Untuk Menentukan Situs Arkeologi Biting Blok Salak Di Desa Kutorenon Kecamatan Sukodono Lumajang Jawa Timur

Menyatakan dengan sebenar-benarnya bahwa hasil penelitian saya ini tidak terdapat unsur-unsur penjiplakan karya penelitian atau karya ilmiah yang pernah dilakukan atau dibuat oleh orang lain, kecuali yang tertulis dikutip dalam naskah ini dan disebutkan dalam sumber kutipan dan daftar pustaka.

Apabila ternyata hasil penelitian ini terbukti terdapat unsur-unsur penjiplakan maka saya bersedia untuk mempertanggung jawabkan, serta diproses sesuai peraturan yang berlaku.



MOTTO

Karena sesungguhnya sesudah kesulitan itu ada kemudahan, sesungguhnya sesudah kesulitan itu ada kemudahan. (QS. Al Insyiroh: 5-6)

(إِنَّ فِيكَ خَصْلَتَيْنِ يُحِبُّهُمَا اللَّهُ : الْجَلْمُ وَالْأَنَاءُ). رواه مسلم

“Sungguh, dalam dirimu ada dua macam perkara yang dicintai oleh Allah: sabar dan tidak tergesa-gesa (dalam bertindak)”.

(HR. Muslim)



HALAMAN PERSEMBAHAN

*Dengan Penuh Cinta Dan Sayang Ku
Persembahkan Karya Ini:*

Penguasa Alam jagat raya yang mengatur kehidupan di Langit dan di Bumi yang terindah, semoga lembaran-lembaran karya ini menjadikan Amal Sholeh

Delita di hati seluruh ummat, yang membawakan Kesejahteraan dalam bentuk cahaya- ilmu pengetahuan dan memberikan Suri Tauladan serta Syafaatnya di Hari Kiamat

Kedua Orangtuaku Bapak Eneng dan Ibu Kam, Adikku Purry, serta Suamiku, dan Semua Keluarga Besarku untuk kasih sayang dan dukungan serta doa yang telah diberikan,

Rara guru dan pembimbing yang telah menunjukkan kebesaran Tuhan melalui keindahan dan keluasan ilmu yang tak terhingga nilainya semoga barokah dan bermanfaat di Dunia dan di Akhirat

Semua teman-teman dan sahabat Fisika atas kebersamaan baik duka maupun suka dan pengalaman Pahit Manis yang telah diberikan selama ini serta Kekasihku yang tercinta yang selama ini telah menemani kekosongan dalam hari-hari Ku

KATA PENGANTAR



Assalamualaikum Wr. Wb

Alhamdulillah puji syukur kehadirat Allah SWT yang telah memberikan rahmat, taufiq dan hidayah-Nya. Sholawat dan salam semoga selalu tercurahkan kepada junjungan kita Nabi besar Muhammad SAW serta para keluarga, sahabat, dan pengikut-pengikutnya. Atas Ridho dan Kehendak Allah SWT, Penulis Dapat Menyelesaikan Skripsi Yang Berjudul **Aplikasi Metode Geolistrik 3d Untuk Menentukan Situs Arkeologi Biting Blok Salak Di Desa Kutorenon Kecamatan Sukodono Lumajang Jawa Timur** sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Sains (S.Si) di Jurusan Fisika Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang.

Selanjutnya penulis haturkan ucapan terima kasih seiring do'a dan harapan *jazakumullah ahsanal jaza'* kepada semua pihak yang telah membantu terselesaikannya skripsi ini. Ucapan terima kasih ini penulis sampaikan kepada:

1. Prof. Dr. H. Mudjia Rahardjo, M.Si selaku Rektor Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang yang telah banyak memberikan pengetahuan dan pengalaman yang berharga.
2. Dr. drh. Bayyinatul Muchtaromah, M.Si selaku Dekan Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang.
3. Erna Hastuti, M.Si selaku Ketua Jurusan Fisika yang telah banyak meluangkan waktu, nasehat dan Inspirasinya sehingga dapat melancarkan dalam proses penulisan Skripsi.
4. Drs. Abdul Basid, M.Si selaku Dosen Pembimbing Skripsi yang telah banyak meluangkan waktu dan pikirannya dan memberikan bimbingan, bantuan serta pengarahan kepada penulis sehingga skripsi ini dapat terselesaikan.
5. Umayyatus Syarifah, M.A selaku Dosen Pembimbing Agama, yang bersedia meluangkan waktu untuk memberikan bimbingan dan pengarahan bidang integrasi Sains dan al-Quran serta Hadits.

6. Segenap Dosen, Laboran dan Admin Jurusan Fisika Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang yang telah bersedia mengamalkan ilmunya, membimbing, dan memberikan pengarahan serta membantu selama proses perkuliahan.
7. Kedua orang tua Bapak Eneng dan Ibu Kam, serta Suami Chairus, dan semua keluarga yang telah memberikan dukungan, restu, serta selalu mendoakan disetiap langkah penulis.
8. Teman-teman dan para sahabat terimakasih atas kebersamaan dan persahabatan serta pengalaman selama ini
9. Semua pihak yang tidak dapat penulis sebutkan satu persatu, yang telah banyak membantu dalam penyelesaian skripsi ini.

Semoga skripsi ini bisa memberikan manfaat, tambahan ilmu dan dapat menjadikan inspirasi kepada para pembaca *Amin Ya Rabbal Alamin*.

Wassalamu 'alaikum Wr. Wb.

Malang, 02 September 2016

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PENGAJUAN	ii
HALAMAN PERSETUJUAN	iii
HALAMAN PENGESAHAN	iv
HALAMAN PERNYATAAN	v
MOTTO	vi
HALAMAN PERSEMBAHAN	vii
KATA PENGANTAR	viii
DAFTAR ISI	x
DAFTAR GAMBAR	xii
DAFTAR TABEL	xiii
DAFTAR LAMPIRAN	xiv
ABSTRAK	xv
ABSTRACT	xvi
مستخلص البحث	xvii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	5
1.3 Tujuan Penelitian	5
1.4 Batasan Masalah	5
1.5 Manfaat Penelitian	5
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	7
2.1 Kondisi Geologi Lumajang	7
2.2 Situs Biting	9
2.3 Geometri Situs Biting	15
2.3.1 Lokasi	15
2.3.2 Tinjauan Geologi situs Biting	17
2.3.3 Riwayat Penelitian Situs Biting	20
2.3.4 Deskripsi Bangunan Situs Biting	22
2.4 Geolistrik	24
2.4.1 Rumus Dasar Listrik Dalam Metode Geolistrik	26
2.4.2 Sifat Listrik Batuan	29
2.4.3 Resistivitas Batuan	32
2.5 Geolistrik Metode Tahanan Jenis	35
2.6 Resistivitas Semu	39
2.7 Aliran Listrik di Dalam Bumi	40
2.7.1 Titik arus Tunggal di Permukaan	40
2.7.2 Dua Titik Arus di Permukaan	42
BAB III METODE PENELITIAN	45
3.1 Tempat Penelitian	45
3.2 Data Penelitian	45
3.3 Instrumentasi Penelitian	46
3.4 Prosedur Pelaksanaan Penelitian	47
3.4.1 Studi Awal	47
3.4.2 Tahap Perencanaan Lokasi Penelitian	48

3.4.3 Tahap Akuisisi Data.....	48
3.4.4 Tahap Pengolahan Data.....	51
3.4.5 Tahap Interpretasi Data.....	52
3.5 Skema Kerja Geolistrik Konfigurasi Wenner	53
BAB IV DATA DAN PEMBAHASAN	54
4.1 Hasil Penelitian	54
4.1.1 Pemodelan Resistivity 2 Dimensi.....	57
4.1.2 Analisa Batuan Penyusun Bawah Permukaan Daerah Situs Biting Khususnya Blok Salak.....	64
4.1.3 Model Penampang 3 Dimensi.....	66
4.2 Hasil Pemodelan Situs Bangunan Candi Menggunakan Metode Geolistrik Dalam Perspektif al-Quran.....	69
BAB V PENUTUP	74
5.1 Simpulan	74
5.2 Saran.....	74
DAFTAR PUSTAKA	
LAMPIRAN	



DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Peta Situs Biting	16
Gambar 2.2	Kawasan Situs Biting	16
Gambar 2.3	Peta Geologi lembar Lumajang	18
Gambar 2.4	Salah Satu Pengungkapan Pada Situs Biting	21
Gambar 2.5	Peta Situs Biting Beserta Pembagian Blok Dan Sebaran Tempat Pengintaian	23
Gambar 2.6	Rangkaian Listrik Sederhana	26
Gambar 2.7	Dua Buah Resistor Dengan Panjang Dan Area Penampang Lintang Yang Berbeda	28
Gambar 2.8	Silinder Konduktor	30
Gambar 2.9	Konfigurasi Wenner	37
Gambar 2.10	Konsep Resistivitas Semu Pada Medium Berlapis	40
Gambar 2.11	Sumber Arus Berupa Titik Pada Permukaan Bumi Homogen	42
Gambar 2.12	Sumber Arus Dua Titik Pada Permukaan Homogen Isotropis	42
Gambar 2.13	Perubahan Bentuk Pada Bidang Equipontensial Dan Garis Aliran Arus Untuk Dua Titik Sumber Arus Pada Permukaan Tanah Homogen	44
Gambar 3.1	Peta Blok Salak	45
Gambar 3.2	Resistivity Meter Merek Oyo	46
Gambar 3.3	Konfigurasi Wenner Mapping	50
Gambar 3.4	Flowchart Penelitian Dengan Metode Geolistrik Tahanan Jenis Konfigurasi Wenner	53
Gambar 4.1	Model Inversi 2D Lapisan Bawah Permukaan Lintasan 1	57
Gambar 4.2	Model Inversi 2D Lapisan Bawah Permukaan Lintasan 2	58
Gambar 4.3	Model Inversi 2D Lapisan Bawah Permukaan Lintasan 3	59
Gambar 4.4	Model Inversi 2D Lapisan Bawah Permukaan Lintasan 4	60
Gambar 4.5	Model Inversi 2D Lapisan Bawah Permukaan Lintasan 5	61
Gambar 4.6	Model Inversi 2D Lapisan Bawah Permukaan Lintasan 6	62
Gambar 4.7	Model Inversi 2D Lapisan Bawah Permukaan Lintasan 7	63
Gambar 4.8	Model Panel Vertikal Area Blok Salak	67
Gambar 4.9	Model Panel Vertikal 3D Area Blok Salak	69

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Nilai Resistivitas Batuan.....	34
Tabel 2.2 Nilai Resistivitas Batuan.....	34



DAFTAR LAMPIRAN

- Lampiran 1 Data Hasil Penelitian Geolistrik
- Lampiran 2 Langkah Kerja Software Res2dinv
- Lampiran 3 Langkah Kerja Software Corel Draw
- Lampiran 4 Gambar Pengambilan Data



ABSTRAK

Mufidah, Jamiatul. 2016. **Aplikasi Metode Geolistrik 3d Untuk Menentukan Struktur Situs Arkeologi Biting Blok Salak Di Desa Kutorenon Kecamatan Sukodono Lumajang Jawa Timur**. Skripsi. Jurusan Fisika, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Islam Negeri (UIN) Maulana Malik Ibrahim Malang.

Pembimbing: (I) Drs. Abdul Basid, M.Si (II) Umaiyyatus Syarifah, M.A

Kata kunci: Situs Biting, Metode Geolistrik, Nilai Resistivitas

Studi tentang peninggalan benda Arkeologi tidak lepas dari informasi yang ingin diperoleh mengenai perilaku sosial, budaya para leluhur dan peradaban sejarah. Situs Biting merupakan peninggalan sejarah kerajaan Majapahit yang ada di Kecamatan Sukodono Kabupaten Lumajang, berupa gundukan batu, dan reruntuhan benteng. Diperlukan metode geolistrik untuk menduga struktur bawah permukaan, keberadaan, dan posisi situs arkeologi Biting. Pengambilan data dilakukan dengan menggunakan alat *Resistivitymeter*, dengan konfigurasi *Wenner-mapping* (panjang lintasan 26 meter spasi elektrode 2 m). Pengolahan data dan pemodelan dilakukan menggunakan *software Res2dinV* dan *Corel Draw*. Hasil penelitian menunjukkan bahwa daerah yang memiliki nilai resistivitas antara $35,4\Omega\text{m}$ – $92,6\Omega\text{m}$ (batu bata penyusun situs) terletak pada posisi pondasi menara intai seperti yang terlihat pada model panel vertikal. Dugaan adanya situs yang masih terpendam terlihat berada pada selatan situs (menara intai) sejauh ± 67 m dan daerah belakang perumahan sejauh ± 314 m dari menara intai, yang diduga sebagai pondasi pagar situs.

ABSTRACT

Mufidah, Jamiatul. 2016. **Application of 3d Geo-electric Methods to Determine Archaeological Sites Structure of Salak Block Biting In the village of Kutorenon Sukodono Lumajang, East Java.** Thesis. Department of Physics, Faculty of Science and Technology, the State Islamic University (UIN) Maulana Malik Ibrahim Malang.

Supervisor: (I) Drs. Abdul Basid, M.Si (II) Umayyatus Syarifah, M.A

Keywords: Biting Site, Geo-electric Method, Resistivity Value

Study of the archaeological heritage can not provides the information to obtain the behavior of social, cultural of ancestors, and history of civilization. Biting site is a relic of the kingdom of Majapahit in Sukodono Lumajang, which formed by the mound of rocks, the pieced bricks of castle. So, it is needed a method to estimate subsurface structure, the archeological exsistance and position of the site use geo-electric method. Data were collected by using a *resistivity meter* with the *Wenner-mapping* configuration (path length of 26 meter electrode spacing 2 meter). Data processing and modeling were done using software RES2DINV and Corel Draw. It presented, the resistivity values between 35,4 Ω m–92,6 Ω m (the bricks of the site) was spreaded over the tower foundation reconnaissance as seen on vertical panel model. It was hypotezied that there are hidden site on the southern of the site and behind housing lying over ± 67 meter and ± 314 meter repectively, it was estimated as foundation of the site fence.

مستخلص البحث

المفيدة جميعة. 2016. طرق التطبيق علم الكهرباء 3d لتحديد بنية الموقع علم الآثار عرضكتلة سالاك في قرية كوتوريون سوكونونو لوماجنج جاوي الشرقية . بحث جامعي. قسم الفيزياء، كلية العلوم والتكنولوجيا، وجامعة الإسلامية الحزمية مولانا مالك إبراهيم مالانج. المشرف: (I) الدكتور عبد الباسط الماجستير (II) أمية الشريفة الماجستير

كلمات الرئيسية: بنية الموقع ، الطريقة علم الكهرباء ، القيمة المقاومة

وكانت دراسة موضوعات التراث الأثري المعلومات التي يمكن الحصول عليها عن سلوك الآباء والأجداد والاجتماعية والثقافية و التاريخ لتجد الحضارة. عض الموقع هو من بقايا مملكة ماجاباهيت في سوكونونو لوماجنج. بنية الموقع مجرد كومة من الصخور والحصى والترية. لذلك، نحن بحاجة الى طريقة علم الكهرباء لتقدير هيكل تحت سطح الأرض، وجود وموقف من بنية الموقع. تم تنفيذ جمع البيانات باستخدام أداة المقاومة متر العلامات التجارية نماذج، والتكوين وينر رسم الخرائط *mapping* مع طول مسار من 26 متر القطب تباعد 2 متر. ويتم معالجة البيانات والنمذجة باستخدام *software Res2din* وكوريل درو *Corel Draw*. وأظهرت النتائج أن المنطقة لديها القيمة المقاومة بين $92.6 \Omega m - 35.4 \Omega m$ (لبنة من الموقع) ويقع في موقف استطلاع مؤسسة البرج كما هو ظاهر على نموذج من لوحة عمودية. استمرار المزعومة من المواقع التي لا تزال المخفية مرئية تقع على الجنوب من الموقع (برج استطلاع) تقريبا بقدر ما $67 \pm$ متر ومساحة وراء الإسكان، الذي توجه إلى الجنوب من برج الكشفية حول بقدر ما $314 \pm$ متر. ويمكن أن نخلص إلى أن الموقف كان يشتهه هو أساس السياج الموقع

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Indonesia merupakan wilayah yang banyak menyimpan peninggalan budaya. Peninggalan-peninggalan budaya tersebut tersebar di berbagai daerah di Indonesia. Jawa Timur merupakan provinsi yang banyak menyimpan peninggalan budaya seperti situs Biting yang terletak di daerah Lumajang. Situs Biting merupakan peninggalan sejarah kerajaan Majapahit yang ada di Kecamatan Sukodono Kabupaten Lumajang. Kerajaan Majapahit merupakan kerajaan Hindu-Budha yang terbesar dan terkuat. Situs Biting merupakan bekas pusat pemerintahan daerah di bawah pemerintahan pusat pada jaman kerajaan Majapahit. Keunikan dari situs Biting adalah adanya bekas bangunan benteng pertahanan yang jarang sekali ditemukan di daerah lain. Selain itu, terdapat peninggalan seperti makam Menak Koncar, bekas pemandian ratu kencana ungu, serpihan-serpihan keramik, dan hiasan pada jaman kerajaan Majapahit.

Al-Quran telah menyebutkan tentang kemajuan materi umat manusia menurut berbagai peristiwa yang berbeda. Dijelaskan dalam al-Quran surat al-Mukmin [40]: 82 tentang kaum-kaum yang terdahulu, bahwa kaum tersebut sudah mengalami peradaban yang hebat dan kemajuan yang telah dicapainya.

أَفَلَمْ يَسِيرُوا فِي الْأَرْضِ فَيَنْظُرُوا كَيْفَ كَانَ عَاقِبَةُ الَّذِينَ مِن قَبْلِهِمْ ۚ كَانُوا أَكْثَرَ مِنْهُمْ وَأَشَدَّ قُوَّةً وَأَثَارًا فِي الْأَرْضِ فَمَا آغْنَىٰ عَنْهُمْ مَا كَانُوا يَكْسِبُونَ ﴿٨٢﴾

“Maka apakah mereka tiada mengadakan perjalanan di muka bumi lalu memperhatikan betapa kesudahan orang-orang yang sebelum mereka. Adalah

orang-orang yang sebelum mereka itu lebih hebat kekuatannya dan (lebih banyak) bekas-bekas mereka di muka bumi, maka apa yang mereka usahakan itu tidak dapat menolong mereka.” (al-mukmin[40]:82)

Allazina ming qoblihim yakni orang-orang yang sebelumnya lebih hebat kekuatan fisiknya dan lebih berhasil pembangunan materialnya. Hal ini terbukti dengan banyaknya peninggalan-peninggalan di muka bumi. Pada kata (*wa aatsaaran*) bermakna bekas-bekas bangunan (candi, arca, prasasti), alat perlengkapan, benteng-benteng dan istana-istana (al-Qurthubi, 2009).

Kabupaten Lumajang dikenal mempunyai banyak peninggalan bersejarah, hampir semua wilayah Kecamatan mempunyai situs-situs yang bersejarah misalnya di Situs Biting, Situs Pra Sejarah di Kandangan (Kecamatan Senduro), Situs Watu Lumpang di Dusun Watu Lumpang, Kecamatan Gucialit, Candi Agung di Kecamatan Randu Agung, Situs Tegal Randu di Kecamatan Klakah, dan Situs Candi Gedong Putri di desa Klop Sawit Kecamatan Candi Puro. Situs-situs ini sampai sekarang masih berserakan dan perlu perhatian lebih karena ancaman alam dan ulah tangan manusia.

Situs Biting ini diketemukan pertama kali oleh J Mageman pada tahun 1861 dan kemudian diteliti ulang oleh A. Muhlenfeld pada tahun 1920. Menurut penelitian Balai Arkeologi Yogyakarta yang dimulai tahun 1982-1991, kawasan Situs Biting memiliki luas 135 hektar yang mencakup 6 blok/area yaitu blok keraton seluas 76,5 ha, blok Jeding (Taman Sari) 5 ha, blok Biting 10,5 ha, blok Randu 14,2 ha, blok Salak 16 ha, dan blok Duren 12,8 ha. Di blok-blok tersebut dapat diketemukan kawasan pemukiman, kawasan pemandian, dan kawasan peribadatan. Begitu kayanya akan benda-benda bersejarah, di kawasan ini banyak

ditemukan artefak-artefak seperti keramik Cina dari abad ke-12 sampai ke-16, gerabah kuno maupun batu bata kuno. Kawasan Situs Biting yang menurut kajian akademis merupakan Kawasan Lindung Budaya sendiri kurang mendapat perhatian, beberapa waktu lalu dibangun Perumahan Nasional yang meliputi 15 Hektar area situs pada tahun 1996.

Studi tentang peninggalan benda Arkeologi tak lepas dari informasi yang ingin diperoleh mengenai perilaku sosial, budaya para leluhur dan memanfaatkan sisa artefak sebagai barang bernilai komoditi tinggi atau sejarah untuk mengetahui peradaban. Rumah peninggalan berumur kisaran puluhan tahun pada lokasi penelitian diduga menyisakan artefak berupa keramik/atau guci yang terpendam di bawah permukaan tanah. Minimnya informasi yang telah diperoleh, perihal peninggalan artefak yang terpendam di bawah permukaan tanah merupakan suatu hambatan dalam proses eskavasi. Oleh karena itu, perlu dilakukan pengukuran dengan metode pemetaan bawah permukaan di sekitar daerah yang diduga terdapat artefak agar proses penggalian dapat dilakukan tanpa menimbulkan kerusakan dan diperoleh hasil yang signifikan dan efisien.

Survei geofisika adalah survei awal yang bertujuan untuk memetakan geologi bawah permukaan berkenaan struktur geologi, stratigrafi, litologi batuan dan reservoir, serta merupakan langkah awal untuk mengetahui lapisan batuan di bawah permukaan tanah. Salah satu metode dalam survey geofisika adalah metode geolistrik. Geolistrik adalah salah satu metode geofisika yang digunakan untuk menginterpretasi bawah permukaan tanah dengan menggunakan konsep fisika dan

tanpa merusak material-material tersebut. Prinsip kerja geolistrik adalah mengukur tahanan jenis dengan mengalirkan arus listrik ke dalam batuan atau tanah melalui elektroda arus. Kemudian arus diterima oleh elektroda potensial dengan menganggap bumi sebagai resistor. Penggunaan geolistrik pertama kali dilakukan oleh Conrad Schlumberger pada tahun 1912. Metode geolistrik tahanan jenis konfigurasi Wenner merupakan salah satu metoda geofisika untuk mengetahui perubahan tahanan jenis lapisan batuan dibawah permukaan tanah dengan cara mengalirkan arus listrik DC (Direct Current) yang mempunyai tegangan tinggi kedalam tanah. Injeksi arus listrik ini menggunakan 2 buah elektroda Arus A dan B yang ditancapkan kedalam tanah dengan jarak tertentu. Semakin panjang jarak elektroda AB akan menyebabkan aliran arus listrik bisa menembus lapisan batuan lebih dalam.

Metode tahanan jenis yang digunakan dalam penelitian ini adalah konfigurasi wenner, metode ini mempunyai keunggulan dalam survey kondisi bawah permukaan tanah. Konfigurasi wenner baik digunakan dalam penyelidikan bawah tanah pada permukaan yang tidak terlalu dalam dan permukaan tanah yang cenderung datar. Arus diinjeksikan ke permukaan tanah lalu diukur beda potensial dan arus listrik. Beda potensial dan arus listrik yang terukur pada penelitian tersebut digunakan untuk mengetahui nilai tahanan jenis dari batuan maupun material lain dari lokasi tersebut.

Nilai tahanan jenis sesungguhnya yang didapatkan dari data penelitian dan telah diolah datanya, digunakan sebagai data untuk membuat penampang resistivitas 2 dimensi maupun 3 dimensi. Penampang tersebut digunakan untuk

membaca anomali apa saja yang berada di daerah penelitian.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang masalah yang telah diuraikan di atas, maka rumusan masalah dari penelitian ini adalah bagaimana menduga struktur bawah permukaan, keberadaan, dan posisi situs arkeologi biting dengan menggunakan metode tahanan jenis?

1.3 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui struktur bawah permukaan, keberadaan, dan posisi situs arkeologi biting dengan menggunakan metode tahanan jenis.

1.4 Batasan Masalah

Pada penelitian ini ada beberapa batasan masalah, diantaranya:

1. Data yang digunakan adalah data primer dari akuisisi data menggunakan instrumen Geolistrik merek Oyo type McOhm-El model-2219d.
2. Program yang digunakan dalam prosesing data adalah *Res2Dinv* dan *Corel Draw*.
3. Daerah penelitian adalah di blok Salak, Desa Kutorenon, Kecamatan Sukodono, Lumajang, Jawa Timur.

1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat yang diperoleh dari penelitian ini adalah:

1. Ikut serta dalam menyelamatkan dan memelihara warisan budaya bangsa dari kehancuran dan melengkapi komponen-komponen situs biring agar dapat dinikmati oleh generasi mendatang dan pihak-pihak yang membutuhkan.
2. Sebagai sumber referensi bagi peneliti, dosen, dan mahasiswa yang ingin melakukan dan mengembangkan penelitian ini lebih lanjut.



BAB II

KAJIAN PUSTAKA

2.1 Kondisi Geologi Lumajang

Kondisi geologi daerah Kabupaten Lumajang disusun oleh batuan-batuan piroklastik dan lava, maka produk gunung api di daerah tersebut dapat dikategorikan ke dalam susunan batuan dari gunung api komposit. Luas sebaran dan besarnya volume produk gunung api tersebut telah membentuk sumber daya bahan galian C yang signifikan di wilayah Lumajang sehingga menciptakan potensi untuk dikelola dan dimanfaatkan secara optimal sebagai penunjang perekonomian daerah. Teridentifikasi berbagai jenis bahan galian golongan C yang dapat dimanfaatkan sebagai bahan bangunan dan bahan industri sebagai berikut :

1. Pasir dan batuan

Pasir dan beraneka ragam ukuran batu mempunyai potensi terbesar di wilayah kabupaten Lumajang yang tersebar di beberapa daerah kecamatan terutama pada aliran kali-kali Leprak, Glidik, Besuksat, Mujur, Rejali, dan sungai-sungai lain berukuran besar/kecil yang berperan sebagai saluran transportasi bahan-bahan rombakan hasil erupsi G. Mahameru. Teridentifikasi bahwa sumber daya bahan galian pasir dan batu hasil kegiatan erupsi G. Mahameru yang berkesinambungan telah menciptakan pendangkalan badan-badan sungai yang dilaluinya dan sekaligus menjadi lahan penambangan utama bahan galian dimaksud. Kuantitas bahan galian termasuk ke dalam kategori sumber daya teroka dengan jumlah total $\pm 2.333.000 \text{ m}^3$.

2. Tanah atau pasir urug

Jenis bahan galian tanah urug ditambang dari daerah perbukitan, sementara pasir urug digali dari endapan sungai purba dengan penambangan di bawah pengawasan instansi terkait dan bekas penambangan dimanfaatkan sebagai lahan pertanian.

3. Andesit

Jenis bahan galian ini berasal dari pegunungan yang berada di beberapa kecamatan, terdiri atas batuan andesit tidak terubah berwarna abu-abu dan terubah hidrotermal berwarna kehijauan. Bahan galian andesit tidak terubah berasal dari Gunung Ketuk, Kali Gede, dan Kali Uling. Sedangkan andesit yang terubah ditambang dari sekitar daerah Gunung Mesigit, Gunung Berangkal, dan Gladak Perak. Kedua jenis bahan galian tersebut mempunyai kuantitas yang termasuk ke dalam sumber daya teroka dengan jumlah $\pm 8.766.456 \text{ m}^3$, yang dapat digunakan untuk bahan bangunan dan ornamen dinding bangunan.

4. Diorit

Diorit dari Gunung Jugo di Desa Jugosari, Kecamatan Candipuro dikenal sebagai salah satu bahan galian golongan C yang dapat digunakan sebagai bahan bangunan dan lantai. Kuantitas bahan galian ini dikategorikan sebagai sumber daya teroka dengan jumlah $\pm 62.500 \text{ m}^3$ memiliki cukup kekerasan, kekuatan tekan, dan apabila dipoles memperlihatkan tekstur menyerupai gabro atau granit.

5. Tuf lapilli

Bahan galian ini tersebar di Gunung Licing bagian selatan, Desa Gondoruso, Kecamatan Pasirian pada ketinggian 200–300 meter dan juga

ditemukan di lereng barat perbukitan sebelah utara Dusun Dampar, merupakan sisipan dalam breksi vulkanik dengan warna putih keabu-abuan, kuantitasnya termasuk ke dalam kategori sumber daya teraka sebesar $\pm 193.110 \text{ m}^3$ sehingga dapat dimanfaatkan untuk ornamen dinding bangunan.

6. Batu gamping pasiran

Bahan galian ini terdapat di Desa Wareng dan Umbulsari, Kecamatan Tempursari. Bahan galian ini berwarna coklat muda, berlapis, dan sangat keras. Bahan ini mengandung kuarsa, pecahan batuan, dan fosil bentos dengan kuantitas sebesar $\pm 1.395.728 \text{ m}^3$, dapat dianggap sebagai sumber daya teraka.

7. Bahan galian logam

Jenis bahan galian berupa mineral-mineral mengandung tembaga (Cu), molybdenum (Mo), seng (Zn), emas (Au), perak (Ag), dan arsen (As), yang masih merupakan indikasi dalam zona mineralisasi di daerah-daerah Desa Oro-oro Ombo di Kecamatan Pronojiwo, Gladak Perak di Kecamatan Candipuro, dan Kali Sukosari di Kecamatan Tempursari. Bahan galian pasir besi teridentifikasi sebagai endapan pantai di Desa Wotgalih, Kecamatan Yosowilangun telah dieksplorasi dan menghasilkan informasi tentang kandungan Fe rata-rata 48,75%.

2.2 Situs Biting

Lumajang merupakan daerah yang terletak di kawasan tapal kuda di Provinsi Jawa Timur. Letak Lumajang diapit oleh tiga gunung yakni Gunung Semeru, Gunung Lamongan, dan Gunung Bromo. Karena itu daerah di Lumajang sangatlah subur. Lumajang adalah daerah yang sudah dikenal sejak zaman Kerajaan Daha pada masa pemerintahan Wisnuwardhana. Pada prasasti Mula

Malurung yang dibuat oleh Raja Singosari (Tumapel), Sminingrat atau Wisnuwardhana, ditemukan di Kediri pada tahun 1975 dan dalam prasasti itu bertuliskan angka tahun 1177 (1255 Masehi). Pada prasasti disebutkan Sminingrat mengutus anaknya Narariya Kirana sebagai juru pelindung Nagara Lamajang. Sudah dikenal nama Lamajang yang merupakan nama kuno Lumajang.

Secara spiritual, nama Lamajang berarti *Luma* (rumah) dan *Hyang* (Dewa) yang berarti rumahnya para Dewa atau rumah yang suci. Secara material, pandangan setiap orang yang melihat daerah sebelah timur Gunung Semeru akan tampak seperti *Lumah* yang menjadi *Ajang* atau dengan kata lain seperti tempat nasi atau tempat yang subur dan makmur. Pada masa Kerajaan Singosari (Tumapel), Lamajang begitu penting karena ada 2 fungsi. Pertama sebagai penghasil pertanian yang makmur. Kedua sebagai pusat pertahanan dalam menghadapi wilayah timur Kerajaan.

Selain itu, pada waktu Kerajaan Daha, daerah Lamajang tepatnya di Gunung Semeru dijadikan tempat ritual dengan ditemukan Prasasti Tesirejo dan Arca Lembu Nandini. Sedangkan pada masa Kerajaan Singosari selain dijadikan tempat ritual, Lamajang juga dijadikan tempat lumbung pemenuh kebutuhan kerajaan. Daerah Lamajang sekarang dikenal dengan nama Candipuro, diketahui dengan ditemukannya Candi Gedong Putri.

Pendiri Kerajaan Lamajang adalah adipati Sumenep yakni Banyak Wide atau Arya Wiraraja. Banyak Wide dilahirkan di daerah Nangkaan (Ranuyoso). Banyak Wide merupakan keturunan brahmana. Datang ke Jawa untuk menjenguk kakeknya. Karena sang kakek meninggal, Arya Wiraraja yang memiliki nama Ida

Banyak Wide diangkat menjadi anak Empu Sedah. Saat diasuh Empu Sedah yang menjadi penasehat Raja Airlangga, Arya Wiraraja mengenal sesosok gadis anak bangsawan kerajaan Kediri yakni Ageng Pinatih. Dikarenakan Wiraraja sangat mencintai sang gadis, orang tua angkatnya tidak bisa menolak meski dia adalah keturunan Brahmana. Setelah menikah dengan Ageng Pinatih, Wiraraja menjadi adipati di Kerajaan Kediri. Arya Wiraraja adalah punggawa Kerajaan Kediri yang kritis dalam membangun Kerajaan Kediri. Namun, karir jabatan sebagai adipati yang berpengaruh di Kediri harus berakhir, saat Kediri (Tumapel) dipimpin oleh Kertanegara. Arya Wiraraja diminta untuk memimpin Kerajaan Madura yang beribukota di Songenep, sekarang menjadi Sumenep.

Prasasti Kudadu menyebutkan bahwa ketika Raden Wijaya melarikan diri bersama 12 pengawal setianya ke Madura, Adipati Arya Wiraraja memberikan bantuan, kemudian melakukan kesepakatan "pembagian tanah Jawa menjadi dua" yang sama besar yang kemudian di sebut "Perjanjian Sumenep". Setelah itu Adipati Arya wiraraja memberi bantuan besar-besar kepada Raden Wijaya termasuk mengusahakan pengampunan politik terhadap Prabu Jayakatwang di Kediri dan pembukaan "hutan Terik" menjadi sebuah desa bernama Majapahit. Dalam pembukaan desa Majapahit ini sungguh besar jasa Adipati Arya Wiraraja dan pasukan Madura. Raden wijaya sendiri datang di desa Majapahit setelah padi-padi sudah menguning (Hidayat, 2012).

Kira-kira 10 bulan setelah pendirian desa Majapahit, kemudian datang pasukan besar Mongol Tar Tar pimpinan Jendral Shih Pi yang mendarat di pelabuhan Tuban. Adipati Arya Wiraraja kemudian menasehati Raden Wijaya

untuk mengirim utusan dan bekerja sama dengan pasukan besar ini dan menawarkan bantuan dengan iming-iming harta rampasan perang dan putri-putri Jawa yang cantik. Setelah dicapai kesepakatan maka diseranglah Prabu Jayakatwang di Kediri yang kemudian dapat ditaklukkan dalam waktu yang kurang dari sebulan. Setelah kekalahan Kediri, Jendral Shih Pi meminta janji putri-putri Jawa tersebut dan kemudian sekali lagi dengan kecerdikan Adipati Arya Wiraraja utusan Mongol dibawah pimpinan Jendral Kau Tsing menjemput para putri tersebut di desa Majapahit tanpa membawa senjata. Hal ini dikarenakan permintaan Arya wiraraja dan Raden Wijaya untuk penjemput putri Jawa tersebut meletakkan senjata dikarenakan permohonan para putri yang dijanjikan yang masih trauma dengan senjata dan peperangan yang sering kali terjadi. Setelah pasukan Mongol Tar Tar masuk desa majapahit tanpa senjata, tiba-tiba gerbang desa ditutup dan pasukan Ronggolawe maupun Mpu Sora bertugas membantainya. Hal ini diikuti oleh pengusiran pasukan Mongol Tar Tar baik di pelabuhan Ujung Galuh (Surabaya) maupun di Kediri oleh pasukan Madura dan laskar Majapahit. Dalam catatan sejarah, kekalahan pasukan Mongol Tar Tar merupakan kekalahan yang paling memalukan karena pasukan besar ini harus lari tercerai berai (Hidayat, 2012).

Setahun setelah pengusiran pasukan Mongol Tar Tar, menurut Kidung Harsawijaya, sesuai dengan "Perjanjian Sumenep" tepatnya pada 10 Nopember 1293 Masehi, Raden Wijaya diangkat menjadi raja Majapahit yang wilayahnya meliputi wilayah-wilayah Malang (bekas kerajaan Singosari), Pasuruan, dan wilayah-wilayah di bagian barat sedangkan di wilayah timur berdiri kerajaan

Lamajang Tigang Juru yang dipimpin oleh Arya Wiraraja yang kemudian dalam dongeng rakyat Lumajang disebut sebagai Prabu Menak Koncar I. Kerajaan Lamajang Tigang Juru ini sendiri menguasai wilayah seperti Madura, Lamajang, Patukangan atau Panarukan dan Blambangan. Dari pembagian bekas kerajaan Singosari ini kemudian kita mengenal adanya 2 budaya yang berbeda di Provinsi Jawa Timur, dimana bekas kerajaan Majapahit dikenal mempunyai budaya Mataraman, sedang bekas wilayah kerajaan Lamajang Tigang Juru dikenal dengan "budaya Pandalungan (campuran Jawa dan Madura)" yang berada di kawasan Tapal Kuda sekarang ini. Prabu Menak Koncar I (Arya Wiraraja) ini berkuasa dari tahun 1293- 1316 Masehi. Sepeninggal Prabu Menak Koncar I (Arya Wiraraja), salah seorang penerusnya yaitu Mpu Nambi diserang oleh Majapahit yang menyebabkan Lamajang Tigang Juru jatuh dan gugurnya Mpu Nambi yang juga merupakan patih di Majapahit. Babad Pararaton menceritakan kejatuhan Lamajang pada tahun saka "Naganahut-wulan" (Naga mengigit bulan) dan dalam Babad Negara Kertagama disebutkan tahun "Muktigunapaksarupa" yang keduanya menunjukkan angka tahun 1238 Saka atau 1316 Masehi. Jatuhnya Lamajang ini kemudian membuat kota-kota pelabuhannya seperti Sadeng dan Patukangan melakukan perlawanan yang kemudian dikenal sebagai "Pasadeng" atau perang sadeng dan ketha pada tahun 1331 masehi (Hidayat, 2012).

Ketika Hayam Wuruk melakukan perjalanan keliling daerah Lamajang pada tahun 1359 Masehi tidak berani singgah di bekas ibu kota Arnon (Situs Biting). Malah perlawanan daerah timur kembali bergolak ketika adanya perpecahan Majapahit menjadi barat dan timur dengan adanya "Perang Paregreg"

ada tahun 1401-1406 Masehi. Perlawanan masyarakat Lamajang kembali bergolak ketika Babad Tanah Jawi menceritakan Sultan Agung merebut benteng Renong (dalam hal ini Arnon atau Kutorenon) melalui Tumenggung Sura Tani sekitar tahun 1617 Masehi. Kemudian ketika anak-anak Untung Suropati terdesak dari Pasuruan, sekali perlawanan dialihkan dari kawasan Arnon atau Renong yang sekarang dikenal sebagai Situs Biting Lumajang (Hidayat, 2012).

Orang-orang terdahulu sudah dapat membangun rumah dengan menggunakan batu gunung dengan begitu benar adanya bahwa adanya bangunan, yang dijelaskan dalam al-quran surat Asy-syu'ara [26]: 149:

وَتَنْحِتُونَ مِنَ الْجِبَالِ بُيُوتًا فَرِهِينَ ﴿١٤٩﴾

"Dan kamu pahat sebagian dari gunung-gunung untuk dijadikan rumah-rumah dengan rajin." (asy-syu'ara [26]: 149)

An-Nahtu adalah *an-Najru*, memahat dan *al-Baryu*, meraut. Orang-orang terdahulu memahat gunung-gunung untuk dijadikan rumah sehingga rumah mereka terlihat tinggi, setelah meruntuhkan rumah-rumah mereka sebelumnya.

Al-jibaali buyuutan maksudnya bahwa orang-orang terdahulu melubangi gunung untuk dijadikan tempat tinggal. Selain itu, maksudnya orang-orang terdahulu mendirikan bangunan di atas gunung-gunung. Bangunan-bangunan dan gedung-gedung yang didirikan terlihat megah dan luar biasa. Dalam hal ini diketahui bahwa memang benar adanya situs, candi, arca, benteng-benteng, dan istana-istana yang terpendam (al-Qurthubi, 2009).

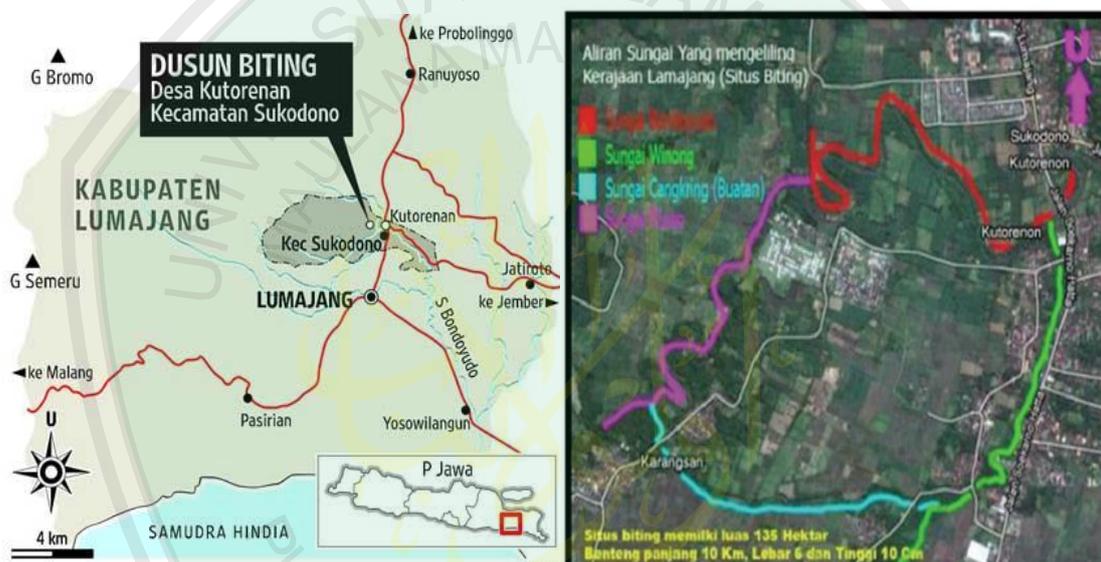
2.3 Geometri Situs Biting

2.3.1 Lokasi

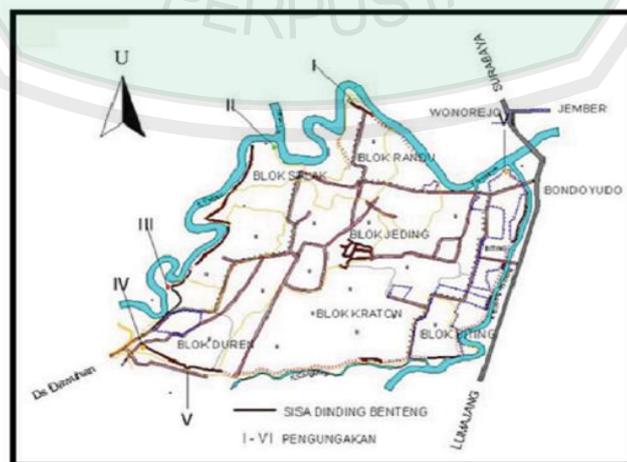
Kabupaten Lumajang merupakan salah satu kabupaten yang berlokasi di Propinsi Jawa Timur. Kabupaten ini terletak pada posisi $7^{\circ} 52'$ s/d $8^{\circ} 23'$ Lintang Selatan dan $112^{\circ} 50'$ s/d $113^{\circ} 22'$ Bujur Timur. Dengan Luas wilayah $1.790,90 \text{ Km}^2$ atau 3,74% dari luas Propinsi Jawa Timur. Secara administratif batas-batas wilayah kabupaten Lumajang adalah sebagai berikut: sebelah utara berbatasan dengan Kabupaten Probolinggo, sebelah timur berbatasan dengan Kabupaten Jember, sebelah selatan berbatasan dengan Samudera Indonesia, sebelah barat berbatasan dengan Kabupaten Malang.

Secara administratif Situs Biting terletak di Dusun Biting, Desa Kutorenon, Kecamatan Sukodono, Kabupaten Lumajang Provinsi Jawa Timur. Situs ini berada pada koordinat diantara $-8^{\circ} 4' 39,2''$ LS dan $113^{\circ} 13' 54,4''$ BT sampai $-8^{\circ} 5' 23,71''$ LS dan $113^{\circ} 13' 50,5''$ BT. Sedangkan Blok Randu berada pada koordinat $-8^{\circ} 4' 39,1''$ LS dan $113^{\circ} 13' 54,8$ BT sampai $-8^{\circ} 4' 54,9''$ LS dan $113^{\circ} 14' 17,3''$ BT. Mayoritas penduduk Lumajang didominasi etnis Madura. Kata Biting sendiri berasal dari bahasa Madura yang berarti 'benteng', atau tembok untuk pertahanan bagi kota raja. Selayaknya sebuah benteng kota, situs Biting meliputi area yang terdiri dari pemukiman, pusat pemerintahan kerajaan, persawahan dan lain sebagainya. Keberadaannya sebagai kota kuno diperkuat dengan temuan arkeologi berupa pondasi bangunan, juga yang diperkirakan bekas keraton (Abbas, 1992).

Situs Biting adalah sebuah situs arkeologis yang terletak di desa Kutorenan, kecamatan Sukodono, Lumajang, provinsi Jawa Timur. Situs ini diperkirakan merupakan peninggalan dari kerajaan Lamajang dan tersebar di atas kawasan seluas sekitar 135 hektar. Bangunan yang paling mengesankan adalah bekas tembok benteng dengan panjang 10 kilometer, lebar 6 meter dan tinggi 10 meter (Hidayat, 2013).



Gambar 2.1 Peta Situs Biting



Gambar 2.2 Kawasan Situs Biting

2.3.2 Tinjauan Geologi Situs Biting

Tatanan stratigrafi daerah Lumajang, batuan tertua yang tersingkap adalah Formasi Mandalika (Tomm) yang terbentuk oleh batuan gunungapi, berupa lava andesit, basal dan breksi gunungapi bagian bawah serta breksi tuf, tuf sela bersisipan lava dan tuf di bagian atas. Batuan bagian bawah formasi ini umumnya telah berubah terutama oleh pempropilitan dan pengersikan tersebar di bagian barat daya dan sedikit di bagian tenggara. Umur formasi ini diperkirakan Oligosen Akhir-Miosen Awal berlingkungan pengendapan laut dangkal sampai darat dan menjemari dengan Formasi Puger (Tmp) bagian bawah. Formasi Puger terdiri dari batu gamping hablur dan batu gamping klastika, yang berselingan dengan kalrenit dan batu pasir tufan. Umurnya diperkirakan Miosen Awal-Miosen Tengah dan terbentuk dalam lingkungan laut dangkal. Dalam Miosen Akhir terjadi penerobosan diorit (Tmid) yang mengakibatkan perubahan batuan, terutama pada Formasi Merubetiri.

Hasil kegiatan gunungapi kuartar dari beberapa sumber, antara lain: G. Jambangan, G.Tengger, G.Semeru, G.Argopuro, dan G.Lamongan, menutupi tak selaras batuan rumur Tersier. Secara litologi, batuan gunungapi kuartar menunjukkan keseragaman susunan. Batuan gunungapi Kuartar dikelompokkan menjadi tiga kompleks yaitu kompleks Tengger-Semeru, Kompleks Argopuro dan Kompleks Lamongan. Endapan termuda adalah endapan permukaan berupa endapan pantai (Qc) dan aluvium (Qa) (Suwardi dan Suharsono, 1993).



Gambar 2.3 Peta geologi lembar Lumajang (Suwardi dan Suharsono, 1993)

Keterangan:

Qa Aluvium : Lempung, lumpur, pasir, kerikil, kerakal dan bongkah

Qc Endapan Pantai : Pasir lepas mengandung magnetik

Qlks Lava Parasit Kepolo Semeru : Lava andesit hipersten augit

Qls Lava Parasit Semeru : Lava andesit piroksen atau basal olivia

Qvs Batuan Gunungapi Semeru : Lava andesit-basal, tuf, breksi gunungapi

dan breksi lahar

Qvt Batuan Gunungapi Tengger : Lava andesit, tuf dan breksi gunungapi

Qvj Batuan gunungapi Jembangan : Lava bersusunan andesit piroksen

Qvl Batuan Gunungapi Lamongan : Breksi gunungapi, tuf dan lava basal

Qvab Breksi Argopuro : Lava dan breksi gunungapi bersusun

Andesit

Qvat Tuf Argopuro : Tuf sela, breksi tuf dan batupasir tufan

Qvk Gumuk Gunungapi : Tuf Abu, tuf lapili, dan lava andesit

Karangduren

Tmp Formasi Puger : Bagian atas batugamping hablur dan kalkarenit bagian bawah berupa perselingan batupasir tufa, tuf dan batupasir gampingan

Tmm Formasi Mandalika : Lava andesit dan breksi gunungapi (terpropiltkan) breksi tuf, tuf sela bersisipan lava dan tuf

Tmid Batuan Terobosan : Diorit, porfiri



: Daerah penelitian (Kec. Sukodono)

Di daerah Sukodono, batuan yang menyusun adalah Aluvium yang berupa lempung, lumpur, pasir, kerikil, kerakal dan bongkah.

2.3.3 Riwayat Penelitian Situs Biting

Secara administratif Situs Biting terletak di Dusun Biting, Desa Kutorenon, Kecamatan Sukodono, Kabupaten Lumajang Provinsi Jawa Timur. Mayoritas penduduk Lumajang didominasi etnis Madura. Kata Biting sendiri berasal dari bahasa Madura yang berarti ‘benteng’, atau tembok untuk pertahanan bagi kota raja. Selayaknya sebuah benteng kota, situs Biting meliputi area yang terdiri dari pemukiman, pusat pemerintahan kerajaan, persawahan dan lain sebagainya. Keberadaanya sebagai kota kuno diperkuat dengan temuan arkeologi berupa pondasi bangunan, juga yang diperkirakan bekas keraton.

Adapun luas situs secara keseluruhan diperkirakan mencapai 135 ha, yang dibagi menjadi 6 blok. Lingkungan situs Biting sendiri dikelilingi oleh 4 aliran sungai, yaitu pada sebelah Utara terdapat sungai Bondoyudo, pada bagian Timur terdapat Sungai Winong atau Bodang, sebelah Selatan terdapat sungai terdapat Sungai Cangkringan, dan pada bagian Barat adalah Sungai Ploso. Dimana pada masing-masing tepian sungai terdapat benteng tanah bentukan bercampur bata dengan ketebalan sekitar 1.60 m dengan tinggi sekitar 2 m. Bekas benteng kota ini juga terdiri dari beberapa menara intai yang terbuat dari bata berukuran besar, dengan menggunakan perekat berupa tanah tanpa lepa (campuran kapur, semen, dan pasir). Menara intai berdenah segi empat, yang oleh penduduk setempat disebut sebagai pengungkakan, dan terdiri dari pengungkakan I sampai VI. Lihat gambar 2.4:



Gambar 2.4 Salah satu pengungkapan pada Situs Biting

Dari enam pengungkapan tersebut, tiga di antaranya terletak di sisi barat, sementara di ketiga sisi lainnya juga masing-masing terdapat sebuah pengungkapan. Dari pengungkapan yang masih tampak relatif utuh, yaitu pengungkapan I dan II diketahui bahwa luas masing-masing adalah 7.5 m x 6.5 m dengan tinggi antara 3.8 m - 8m (Abbas, 1992).

Menyangkut hasil penelitian arkeologi di lokasi situs Biting, selain tembok bata juga ditemukan artefak lainnya baik berupa pecahan tembikar, keramik, mata uang, alat logam, maupun batu-batu bulat. Pecahan-pecahan tembikar setelah dianalisis menunjukkan berbagai bentuk wadah, seperti periuk, buyung (klenthing), kendi, mangkuk, cawan, piring, pengaron, dan kowi. Analisis terhadap temuan pecahan keramik menunjukkan bentuk asal berupa mangkuk, buli-buli, cepuk, cangkir, piring, dan guci (Abbas, 1992).

2.3.3 Deskripsi Bangunan Situs Biting

Kawasan Situs Biting adalah sebuah kawasan ibu kota kerajaan Lamajang Tigang Juru yang dipimpin Prabu Arya Wiraraja yang dikelilingi oleh benteng pertahanan dengan tebal 6 meter, tinggi 10 meter dan panjang 10 km. Hasil penelitian Balai Arkeologi Yogyakarta tahun 1982-1991, Kawasan Situs Biting memiliki luas 135 hektar yang mencakup 6 blok/area merupakan blok keraton seluas 76,5 ha, blok Jeding 5 ha, blok Biting 10,5 ha, blok Randu 14,2 ha, blok Salak 16 ha, dan blok Duren 12,8 ha. Dalam Babad Negara Kertagama, kawasan ini disebut Arnon dan dalam perkembangan pada abad ke-17 disebut Renong dan dewasa ini masuk dalam desa Kutorenong yang dalam cerita rakyat identik dengan "Ketonon" atau terbakar. Nama Biting sendiri merujuk pada kosa kata Madura bernama "Benteng" karena daerah ini memang dikelilingi oleh benteng yang kokoh (Hidayat, 2013).

Wilayah perbentengan seluas 135 ha, Situs Biting dirancang oleh seorang arsitek yang dalam sejarah disebut sebagai Arya Wiraraja. Secara strategi militer, Arya Wiraraja memilih tempat yang tepat dengan medan strategis dan kondisi di dalam benteng yang merupakan permukaan datar dan subur. Dia juga memperkuat benteng dengan dinding bata setinggi dua meter dengan ketebalan 1,60 cm. Cetakan batu bata berukuran cukup besar dengan pembakaran bersuhu tinggi dan menggunakan perekat atau spesi berupa tanah tanpa lepa (Abbas, 1992).



Gambar 2.5 Peta Situs Biting beserta pembagian blok dan sebaran tempat pengintaian

Benteng Biting berdenah asimetris, yakni dibentuk dengan mengikuti bentuk empat aliran sungai yang terdapat di lokasi tersebut, yaitu Sungai Bondoyudo di sisi utara, Sungai Winong di sisi timur, Sungai Cangkring di sisi selatan, dan Sungai Ploso di sisi barat. Sementara posisi keenam pengungkakan benteng ini masing-masing terdapat pada kelokan sungai. Perlu diketahui bahwa sungai yang terletak di sebelah selatan, yaitu Sungai Cangkring, merupakan sungai buatan. Sedangkan di sebelah barat daya terdapat bekas-bekas pembendungan Sungai Ploso (Moelyadi, 1983).

Dengan catatan sejarah yang ada, belum ada benteng seluas itu yang ditemukan di zaman Majapahit. Jika ada benteng yang ditemukan luasnya lebih dari itu, rata-rata berada di era kolonial. Di Benteng Biting ini terdapat lima

Pengungkakan atau yang bisa disebut sebagai tempat untuk mengintai musuh di luar benteng. *Pengungkakan* ini berada di gerbang utama, dinding benteng sebelah barat dan timur kemudian utara dan selatan. Beberapa area Situs Biting saat ini berdiri di lahan milik warga dan Perhutani. Bahkan, ketika menggali tempat yang diduga mejadi pintu utama Benteng berada di perumahan milik warga. Situs kuno Kerajaan Lumajang ini terancam rusak. Karena beberapa lahan digunakan oleh pengembang sebagai perumahan. Jarak antara bangunan perumahan dengan situs kerajaan bersejarah ini hanya 40 meter (okezone.com).

Konsep tata letak Benteng ini dibangun di atas sungai sebagai pertahanan Kerajaan Lamajang Tigang Juru. Ada beberapa temuan benda-benda bersejarah saat penggalian. Masing-masing penggalian menemukan benda yang berbeda-beda. Misalnya, di *Pengungkakan* sebelah barat banyak ditemukan gerabah, gentong dan lain-lain. Kemudian di sebelah utara banyak ditemukan senjata-senjata seperti *cundrik*, keris, dan tombak. Di Sebelah selatan ada semacam taman sari karena terlihat masih keluar air dan ada penataan batu bata yang mirip dengan lantai. Ada pula penemuan umpak untuk tiang rumah dan *cungkup* serta tempat air yang mirip dengan ukiran dari Bali (okezone.com).

2.4 Geolistrik

Penyelidikan geolistrik dilakukan atas dasar sifat fisika batuan terhadap arus listrik, dimana setiap batuan yang berbeda akan mempunyai harga tahanan jenis yang berbeda pula. Hal ini tergantung pada beberapa faktor, diantaranya umur batuan, kandungan elektrolit, kepadatan batuan, jumlah mineral yang dikandungnya, porositas, permeabilitas dan sebagainya.

Geolistrik merupakan salah satu metode dalam geofisika yang mempelajari sifat aliran listrik di dalam bumi dengan cara mengalirkan arus listrik DC (Direct Current) yang mempunyai tegangan tinggi ke dalam tanah. Injeksi arus listrik ini menggunakan dua buah elektroda arus A dan B yang ditancapkan ke dalam tanah dengan jarak tertentu. Semakin panjang jarak AB akan menyebabkan aliran arus listrik bisa menembus lapisan batuan lebih dalam. Sedangkan dua elektroda potensial yang berada di dalam konfigurasi digunakan untuk mengukur beda potensialnya.

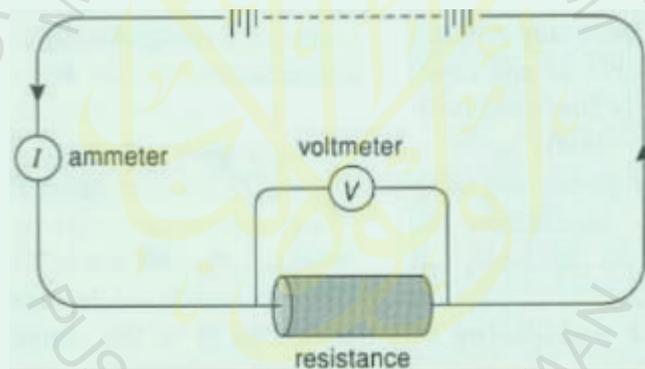
Dengan adanya aliran arus listrik tersebut akan menimbulkan tegangan listrik di dalam tanah. Tegangan listrik yang ada di permukaan tanah diukur dengan menggunakan multimeter yang terhubung melalui dua buah elektroda tegangan M dan N dimana jaraknya lebih pendek dari pada jarak elektroda AB. Ketika jarak elektroda AB diubah menjadi lebih besar maka akan menyebabkan tegangan listrik yang terjadi pada elektroda MN ikut berubah sesuai dengan informasi jenis batuan yang ikut terinjeksi arus listrik pada kedalaman yang lebih dalam.

Umumnya, metode resistivitas ini hanya baik untuk eksplorasi dangkal, yaitu sekitar 100 meter. Jika kedalaman lapisan lebih dari harga tersebut, informasi yang diperoleh kurang akurat, hal ini disebabkan karena melemahnya arus listrik untuk jarak bentang yang semakin besar. Karena itu, metode ini jarang digunakan untuk eksplorasi dalam. Sebagai contoh eksplorasi minyak. Metode resistivitas lebih banyak digunakan dalam bidang *engineering geology* (seperti

penentuan kedalaman batuan dasar), pencarian reservoir air, pendeteksian intrusi air laut, dan pencarian ladang geotermal.

2.4.1 Rumus Dasar Listrik dalam Metode Geolistrik

Metode geolistrik resistivitas bekerja karena pengukuran beda potensial pada titik-titik di permukaan bumi yang diproduksi dengan langsung mengalirkan arus ke bawah permukaan. Hal ini bermanfaat untuk menentukan distribusi resistivitas di bawah permukaan dan kemudian digunakan untuk interpretasi material-material yang potensial, kita perlu meninjau ulang secara singkat konsep kelistrikan (Burger, 1992).



Gambar 2.6 Rangkaian listrik sederhana

Gambar di atas mengilustrasikan sebuah rangkaian listrik dasar yang di dalamnya terdapat baterai, kabel penghubung dan sebuah resistor. Baterai mengatur beda potensial di antara dua titik (kutub positif dan kutub negatif). Baterai dengan demikian berfungsi sebagai sebuah sumber gaya listrik (GGL) di dalam perpindahan muatan melalui rangkaian, seperti halnya ketika memompa air melewati saluran pipa. Kaidah yang dipakai disini adalah untuk menentukan aliran arus sebagai perpindahan muatan positif. Untuk menyempurnakan aliran ini

berarti harus memindahkan muatan positif dari sebuah potensial rendah di kutub negatif menuju potensial tinggi di kutub positif. Gaya yang bekerja dalam perubahan potensial membutuhkan sebuah gaya yang dinamakan gaya elektromotif atau emf (*elektromotive force*) yang satuannya berupa volt (V).

Perpindahan dari muatan-muatan yang melewati kabel penghubung per satuan waktu dinamakan arus. Secara matematis (Burger, 1992).

$$i = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta q}{\Delta t} = \frac{dq}{dt} \quad (2.1)$$

Atau

$$i = \frac{q}{t} \quad (2.2)$$

Dimana (i) adalah arus dalam ampere, adalah muatan dalam coulomb dan (t) adalah waktu dalam detik.

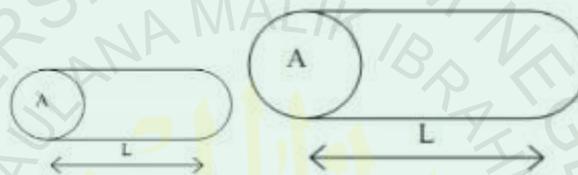
Konsep lain yang sangat penting di dalam survei geolistrik resistivitas adalah rapat arus j. Rapat arus didefinisikan sebagai arus yang melewati suatu penampang lintang per satuan luas, hal tersebut mengikuti,

$$j = \frac{i}{a} \quad (2.3)$$

Jelas bahwa kuantitas arus yang sama dan melewati luas penampang lintang yang berbeda akan menghasilkan rapat arus yang berbeda. George Simon Ohm adalah fisikawan Jerman yang pertama kali memperkenalkan hubungan antara kuat arus, tegangan dan hambatan listrik melalui hukumnya yang mengatakan bahwa arus (i) adalah berbanding lurus terhadap tegangan (V) dan berbanding terbalik terhadap hambatan (R), atau

$$i = \frac{V}{R} \quad (2.4)$$

Pada prinsipnya material geologi bervariasi, maka diduga mempunyai beragam pula hambatan untuk mengalirkan arus. Variasi hambatan dapat diketahui melalui pengukuran secara langsung terhadap arus dan tegangan. Pendekatan lain bahwa hambatan bukan hanya dipengaruhi oleh jenis materialnya, tetapi juga dipengaruhi oleh dimensinya (Burger, 1992).



Gambar 2.7 Dua buah resistor dengan panjang dan area penampang lintang yang berbeda.

Gambar di atas menunjukkan dua buah resistor dengan panjang yang berbeda dan penampang lintang area yang berbeda pula. Jika diibaratkan bahwa dua resistor tersebut disusun oleh material yang sama, ternyata dengan tidak sengaja mereka mempunyai nilai hambatan yang berbeda dalam menghantarkan arus. Mengingat bahwa arus adalah perpindahan muatan per satuan waktu, maka aliran arus bisa dianalogikan sebagai aliran air. Bayangkan bahwa sebuah pipa terbuka di salah satu bagiannya diberikan kerikil. Pompa air akan memberikan tekanan yang berbeda di dalam pipa terbuka tersebut, dan menyebabkan aliran air yang berbeda pula. Kerikil menyebabkan sebuah hambatan pada aliran air menuju keluaran pipa. Jika kita membuat aliran pada pipa yang sama, tetapi memperbanyak isian kerikil pada pipanya, hambatannya akan meningkat dan rata-

rata aliran airnya akan berkurang. Jika kita meningkatkan diameter, hambatannya akan berkurang dan air akan banyak keluar.

Sifat ini meyakinkan kita bahwa hambatan dari resistor sebagaimana yang diilustrasikan pada gambar di atas bergantung pada panjang kolom pipa dan juga material dasar yang menyusunnya, yang kita namakan resistivitas dan dinotasikan dalam ρ sehingga kita dapat menyebutkan bahwa (Burger, 1992).

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

Atau

$$\rho = R \frac{A}{L} \quad (2.6)$$

Satuan dari resistivitas adalah hambatan dikalikan panjang yang dinotasikan dalam ohm meter. Resistivitas merupakan kebalikan dari konduktivitas, begitu juga sebaliknya.

2.4.2 Sifat Listrik Batuan

Aliran arus listrik di dalam batuan dan mineral dapat digolongkan menjadi tiga macam, yaitu konduksi secara elektronik, konduksi secara elektrolit, dan konduksi secara dielektrik, besarnya dipengaruhi oleh porositas batuan dan juga dipengaruhi oleh jumlah air yang terperangkap dalam pori-pori batuan (Telford, 1990).

1. Konduksi Secara Elektronik

Konduksi ini terjadi jika batuan atau mineral mempunyai banyak elektron bebas sehingga arus listrik dialirkan dalam batuan atau mineral oleh elektron-elektron bebas tersebut. Aliran listrik ini juga dipengaruhi oleh sifat atau

karakteristik masing-masing batuan yang dilewatinya. Salah satu sifat atau karakteristik batuan tersebut adalah resistivitas (tahanan jenis). Resistivitas adalah karakteristik bahan yang menunjukkan kemampuan bahan tersebut untuk menghantarkan arus listrik. Semakin besar nilai resistivitas suatu bahan maka semakin sulit bahan tersebut menghantarkan arus listrik. Begitu pula sebaliknya apabila nilai resistivitasnya rendah maka akan semakin mudah bahan tersebut menghantarkan arus listrik. Resistivitas (hambatan jenis) mempunyai pengertian yang berbeda dengan resistansi (hambatan), dimana resistansi tidak hanya tergantung pada bahan tetapi juga bergantung pada faktor geometri atau bentuk bahan tersebut. Sedangkan resistivitas tidak bergantung pada faktor geometri.



Gambar 2.8 Silinder Konduktor

Jika ditinjau silinder konduktor dengan panjang L , luas penampang A , dan resistansi R , maka dapat dirumuskan:

$$R = \rho \frac{L}{A} \quad (2.8)$$

Dimana ρ adalah resistivitas (Ωm), L adalah panjang silinder konduktor (m), A adalah luas penampang silinder konduktor (m^2), dan R adalah resistansi (Ω). Sedangkan menurut hukum Ohm, resistansi R dirumuskan:

$$R = \frac{V}{I} \quad (2.9)$$

Dimana R adalah resistansi (ohm), V adalah beda potensial (volt), I adalah kuat arus (ampere). Dari kedua rumus tersebut didapatkan nilai resistivitas (ρ) sebesar:

$$\rho = \frac{VA}{IL} \quad (2.10)$$

Banyak orang sering menggunakan sifat konduktifitas (σ) batuan yang merupakan kebalikan dari resistivitas (ρ) dengan satuan mhos/m.

$$\sigma = 1/\rho = \left(\frac{I}{A}\right) \left(\frac{L}{V}\right) = \frac{J}{E} \quad (2.11)$$

Dimana J adalah rapat arus (ampere/m²) dan E adalah medan listrik (volt/m) (Sulistyowati,2009).

2. Konduksi secara elektrolit

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

Menurut persamaan Archie:

$$\rho_e = a\varphi^{-m}S^{-n}\rho_w \quad (2.12)$$

Dimana ρ_e adalah resistivitas batuan (ohmmeter), φ adalah porositas, S adalah fraksi pori-pori yang berisi air, dan ρ_w adalah resistivitas air, sedangkan

a, m , dan n adalah konstanta, m disebut juga faktor sementasi. Schlumberger menyarankan $n = 2$, untuk nilai n yang sama (Sulistiyowati, 2009).

3. Konduksi Secara Dielektrik

Konduksi pada batuan atau mineral bersifat dielektrik terhadap aliran listrik, artinya batuan atau mineral tersebut mempunyai elektron bebas sedikit, bahkan tidak ada sama sekali. Tetapi karena adanya pengaruh medan listrik dari luar maka elektron dalam bahan berpindah dan berkumpul terpisah dari inti, sehingga terjadi polarisasi. Peristiwa ini tergantung pada konduksi dielektrik masing-masing batuan yang bersangkutan (Sulistiyowati, 2009).

2.4.3 Resistivitas Batuan

Dari semua sifat fisika batuan dan mineral, resistivitas memperlihatkan nilai yang sangat variatif. Pada mineral-mineral logam, harganya berkisar pada $10^5 \Omega\text{m}$, batuan seperti gabbro dengan harga berkisar pada $10^7 \Omega\text{m}$. Begitu juga pada batuan-batuan lain, dengan komposisi yang bermacam-macam akan menghasilkan range resistivitas yang bervariasi pula. Sehingga range resistivitas maksimum yang mungkin adalah dari $1,6 \times 10^8$ (perak asli) hingga $10^{16} \Omega\text{m}$ (belerang murni) (Sulistiyowati, 2009).

Konduktor biasanya didefinisikan sebagai bahan yang memiliki resistivitas kurang dari $10^{-5} \Omega\text{m}$, sedangkan isolator memiliki resistivitas lebih dari $10^7 \Omega\text{m}$. Dan di antara keduanya adalah bahan semikonduktor. Di dalam konduktor berisi banyak elektron bebas dengan mobilitas yang sangat tinggi. Sedangkan pada semikonduktor, jumlah elektron bebasnya lebih sedikit. Isolator

dicirikan oleh ikatan ionik sehingga elektron-elektron valensi tidak bebas bergerak (Telford, 1990).

Secara umum batuan dan mineral dapat dikelompokkan menjadi tiga berdasarkan nilai hambatan jenisnya yaitu:

1. Konduktor baik, yaitu dengan nilai resistivitas antara $10^{-8} < \rho < 1 \Omega\text{m}$
2. Konduktor pertengahan, yaitu dengan nilai resistivitas antara $1 < \rho < 10^7 \Omega\text{m}$
3. Isolator, yaitu dengan nilai resistivitas antara $\rho > 10^7 \Omega\text{m}$ (Telford, 1982).

Lapisan penyusun Bumi merupakan suatu material batuan yang memiliki hambatan jenis yang berbeda tiap lapisannya. Menurut Reynold (1997) besar jenis hambatan tiap batuan ditentukan oleh beberapa faktor, antara lain:

1. Kandungan air

Kandungan air yang ada di dalam batuan akan menurunkan harga resistivitas sehingga nilai daya hantar listrik pada batuan tersebut semakin besar.

2. Porositas batuan

Batuan yang pori-porinya mengandung air mempunyai tahanan jenis yang lebih rendah dari pada batuan kering.

3. Kelarutan garam dalam air didalam batuan

Kelarutan garam air dalam batuan akan mengakibatkan kandungan ion dalam air besar, sehingga tahanan jenis dalam air akan rendah.

Resistivitas tiap material di bumi mempunyai interval nilai yang berbeda. Pada tabel 2.1 ini ditunjukkan variasi resistivitas dari material batuan atau mineral di bumi.

Tabel 2.1 Nilai resistivitas batuan (Verhoef, 1994)

No	Jenis Batuan	Resistivitas (Ω m)
1	Gambut dan lempung	8-50
2	Lempung pasiran dan lapisan kerikil	40-250
3	Pasir dan kerikil jenuh	40-100
4	Pasir dan kerikil kering	100-3000
5	Batu lempung, napal dan serpih	8-100
6	Batu pasir dan batu kapur	100-4000

Tabel 2.2 Nilai resistivitas batuan (Suryono dan Takeda, 2003)

No	Jenis Material	Resistivitas (Ω m)
1	Air permukaan	80-200
2	Air tanah	30-100
3	Lapisan Silt-Lempung	10-200
4	Lapisan Pasir	100-600
5	Lapisan Pasir dan Kerikil	100-1000
6	Batu Lumpur	20-200
7	Konglomerat	100-500
8	Tufa	20-200
9	Kelompok Andesit	100-20000
10	Kelompok Granit	1000-10000
11	Batu pasir	50-500
12	Kelompok Chart, Slate	200-2000

Dari penelitian sebelumnya yang berjudul “Pendugaan Struktur Bawah Permukaan Peninggalan Purbakala Situs Candi Jabung Probolinggo Menggunakan Metode Geolistrik Resistivitas”, berkesimpulan bahwa berdasarkan hasil penelitian metode geolistrik resistivitas konfigurasi dipole-dipole berhasil melakukan pendugaan struktur bawah permukaan situs candi Jabung, Probolinggo. Dari hasil pendugaan tersebut diketahui masih ada bagian-bagian situs candi yang terkubur di bawah permukaan tanah pada kedalaman 1.8 m dengan kisaran nilai resistivitas antara $33.0 \Omega\text{m}$ – $92.6 \Omega\text{m}$ dan di interpretasikan sebagai batu bata yang merupakan batuan penyusun pondasi pagar halaman candi Jabung. Hal ini sesuai hasil pembersihan candi Jabung yang telah dilakukan oleh Tim pembersihan candi Jabung Probolinggo pada tahun 1983 (Isdarmadi, 2013)

2.5 Geolistrik Metode Tahanan Jenis

Instrumen geolistrik merupakan alat yang dapat diterapkan untuk beberapa metode geofisika, dimana prinsip kerja metode tersebut adalah mendapatkan aliran listrik di dalam bumi dan cara mendeteksinya di permukaan bumi.

Metode tahanan jenis adalah salah satu dari kelompok metode geolistrik yang digunakan untuk mempelajari keadaan bawah permukaan dengan cara mempelajari sifat aliran listrik di dalam batuan di bawah permukaan bumi. Dalam kajian ini meliputi besaran medan potensial, medan elektromagnetik yang diakibatkan oleh aliran arus listrik secara alamiah (pasif) ataupun secara buatan (aktif). Beberapa metode yang termasuk dalam metode geolistrik ini diantaranya metode tahanan jenis, metode tahanan jenis head on, metode self potential,

polarisasi terimbas, EM VLF, magnetotelluric, arus telluric, dan elektromagnetik (Santoso, 2002).

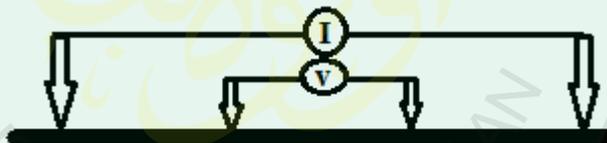
Geolistrik metode tahanan jenis adalah metode yang paling sering digunakan dari sekian banyak metode yang ada. Metode ini pada prinsipnya bekerja dengan menginjeksikan arus listrik ke dalam bumi melalui dua elektrode arus sehingga menimbulkan beda potensial. Dan beda potensial yang terjadi diukur melalui dua buah elektroda potensial. Hasil pengukuran arus dan beda potensial untuk setiap jarak elektroda yang berbeda dapat digunakan untuk menurunkan variasi harga tahanan jenis lapisan di bawah titik ukur. Metode ini lebih efektif dan cocok digunakan untuk eksplorasi yang sifatnya dangkal, jarang memberikan informasi lapisan di kedalaman lebih dari 1000 kaki, sehingga metode ini jarang digunakan untuk eksplorasi minyak tetapi lebih banyak digunakan dalam bidang *engineering geology* seperti penentuan kedalaman basement (batuan dasar), pencarian reservoir (tandon) air, dan eksplorasi geotermal (panas bumi) (Wahyudi, 2001).

Model pendugaan geolistrik ini menggunakan prinsip bahwa lapisan batuan atau material mempunyai tahanan yang bervariasi, yang disebut dengan tahanan jenis (resistivity). Besarnya resistivitas diukur dengan mengalirkan arus listrik ke dalam bumi dan memperlakukan lapisan batuan sebagai media penghantar arus. Setiap material atau batuan mempunyai kisaran resistivitas yang berbeda dengan material lain. Berdasarkan letak (konfigurasi) elektroda-elektroda arus dan potensialnya, dikenal beberapa jenis metode geolistrik tahanan jenis,

antara lain metode schlumberger, metode wenner dan metode dipole (Wahyudi, 2001).

Konfigurasi Wenner merupakan konfigurasi yang membutuhkan tempat yang sangat luas. Konfigurasi ini tersusun atas dua elektroda arus dan dua elektroda potensial. Elektroda potensial ditempatkan pada bagian dalam dan elektroda arus pada bagian luar, dengan jarak antar elektroda sebesar a . Pengukuran dilakukan dengan memindahkan semua elektroda secara bersamaan ke arah luar dengan jarak a selalu sama ($AM = MN = AB$). Konfigurasi ini digunakan dalam pengambilan data secara lateral atau mapping. Faktor geometris K untuk konfigurasi ini sebesar $2\pi a$, sehingga besar resistivitas semu adalah:

$$\rho = 2\pi a \left(\frac{V}{I} \right) \quad (2.13)$$



Gambar 2.9 Konfigurasi Wenner

Pengambilan data geolistrik yang ideal dilakukan pada permukaan tanah yang memiliki topografi landai, namun pada kenyataan dilapangan topografi bervariasi. Maka dari itu kemiringan permukaan tanah dapat diabaikan jika kemiringan $< 15^\circ$ (Milsom, 2003). Konfigurasi wener memiliki 3 macam yaitu:

1. Wenner Alpha

Wenner Alpha memiliki konfigurasi elektroda potensial berada di antara elektroda arus yang tersusun dari $C1 - P1 - P2 - C2$. Jarak elektroda yang

satu dengan yang lainnya sama dengan a . faktor geometri konfigurasi ini adalah $k = 2 \pi a$. Keuntungan dan keterbatasan konfigurasi Wenner Alpha (Taib, 2004), adalah:

- Konfigurasi elektrode Wenner Alpha, sangat sensitif terhadap perubahan lateral setempat dan dangkal seperti gawir, lensa-lensa setempat. Hal tersebut terjadi karena anomali geologi diamati oleh elektroda Ci dan Pi berkali-kali. Namun demikian, untuk jarak C-P yang lebih pendek, daya tembus (penetrasi) lebih besar, sehingga berlaku untuk eksplorasi resistivitas dalam.
- Bidang equipotensial untuk beda homogen berupa bola, maka data-data lebih mudah diproses dan dimengerti. Disamping itu, erornya kecil.
- Sensifitas terhadap perubahan-perubahan ke arah lateral di permukaan, konfigurasi ini disukai dan banyak digunakan untuk penyelidikan geothermal.
- Pengukuran setiap elektroda harus dipindahkan, maka memerlukan personel yang lebih banyak.

2. Wenner Beta

Wenner Beta merupakan kasus khusus untuk konfigurasi dipole-dipole. Elektroda potensialnya berdekatan pada satu sisi dan elektrode arusnya di sisi yang lain, dengan susunan mulai dari C2 – C1 – P1 – P2. Jarak elektrode yang satu ke elektrode yang lain juga sama dengan a . Faktor geometri konfigurasi ini adalah $k = 6 \pi a$. Keunggulan dan kelemahan

konfigurasi ini hampir sama dengan Wenner Alpha, hanya berbeda pada sensitifitasnya. Wenner Beta lebih sensitif ke arah horizontal dibandingkan Wenner Alpha, sementara Wenner Alpha lebih sensitif ke arah vertikal atau penetrasi Wenner Alpha lebih dalam dari pada Wenner Beta.

3. Wenner gamma

Jarak elektrode konfigurasi ini juga sama dengan a, namun elektrodenya hanya terdiri dari satu elektrode arus dan satu elektrode potensial. Faktor geometri ini adalah $k = 3 \pi a$. Karena Cuma satu elektrode arus dan satu elektrode potensial, maka tidak membutuhkan personel yang banyak. Akan tetapi terlalu banyak potensial yang tidak terukur.

2.6 Resistivitas Semu

Bumi diasumsikan mempunyai sifat homogen isotropis. Dengan asumsi ini, resistivitas yang terukur merupakan resistivitas sebenarnya dan tidak tergantung atas spasi elektroda. Pada kenyataannya, bumi terdiri dari lapisan-lapisan dengan ρ yang berbeda-beda, sehingga potensial yang terukur merupakan pengaruh dari lapisan-lapisan tersebut. Maka harga resistivitas yang terukur bukan merupakan harga resistivitas untuk satu lapisan saja, hal ini terutama untuk spasi elektroda yang lebar (Tachjudin, 1990).

Resistivitas semu ini dirumuskan dengan :

$$\rho_s = K \frac{\Delta V}{I} \quad (2.14)$$

Dengan K adalah besaran koreksi letak kedua elektrode potensial terhadap letak kedua elektrode arus.

Dengan resistivitas semu (Apparent Resistivity) yang bergantung pada spasi elektroda. Untuk kasus tak homogen, bumi diasumsikan berlapis-lapis dengan masing-masing lapisan mempunyai harga resistivitas yang berbeda. Resistivitas semu merupakan resistivitas dari suatu medium fiktif homogen yang ekuivalen dengan medium berlapis yang ditinjau. Sebagai contoh medium berlapis yang ditinjau misalnya terdiri dari dua lapis yang mempunyai resistivitas berbeda (ρ_1 dan ρ_2) dianggap sebagai medium satu lapis homogen yang mempunyai satu harga resistivitas semu ρ_a , dengan konduktansi lapisan fiktif sama dengan jumlah konduktansi masing-masing lapisan $\sigma_a = \sigma_1 + \sigma_2$.



Gambar 2.10 Konsep Resistivitas Semu Pada Medium Berlapis

2.7 Aliran Listrik di Dalam Bumi

2.7.1 Titik Arus Tunggal di Permukaan

Metode pendekatan yang paling sederhana dalam mempelajari secara teoritis tentang aliran arus listrik di dalam bumi adalah bumi dianggap homogen dan isotropis (Telford, 1990). Jika sebuah elektroda tunggal yang dialiri arus listrik diinjeksikan pada permukaan bumi yang homogen isotropis, maka akan terjadi aliran arus yang menyebar dalam tanah secara radial dan apabila udara di atasnya memiliki konduktivitas nol, maka garis potensialnya akan berbentuk setengah bola dapat dilihat pada gambar 2.11.

Aliran arus yang keluar dari titik sumber membentuk medan potensial dengan kontur ekuipotensial berbentuk permukaan setengah bola di bawah permukaan. Dalam hal ini, arus mengalir melalui permukaan setengah bola maka arus yang mengalir melewati permukaan tersebut adalah (Telford, 1990).

$$I = 2\pi r^2 J = -2\pi r^2 \sigma \frac{dv}{dr} = -2\pi \sigma A \quad (2.15)$$

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

Untuk konstanta integrasi A dalam setengah bola yaitu:

$$A = \frac{I\rho}{2\pi} \quad (2.16)$$

Sehingga diperoleh:

$$V = -\frac{A}{r} \left(\frac{I\rho}{2\pi} \right) \quad (2.17)$$

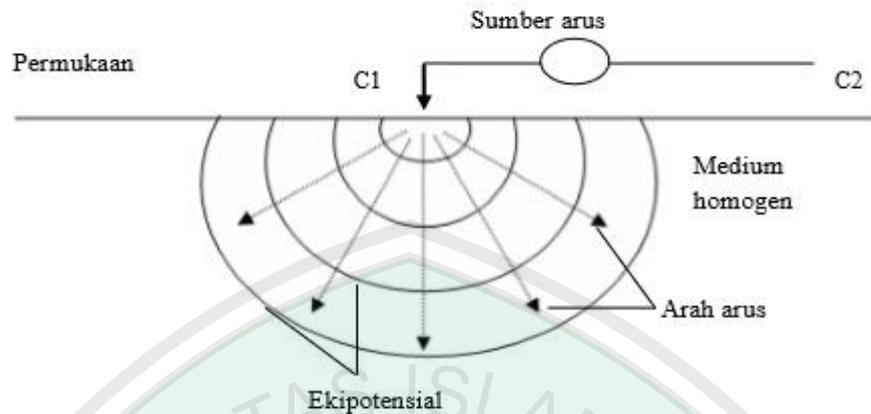
Dimana ΔV = Beda potensial

I = Kuat arus yang dilalui oleh bahan (Ampere)

Maka nilai resistivitas listrik yang diberikan oleh medium:

$$\rho = 2\pi r \frac{V}{I} \quad (2.18)$$

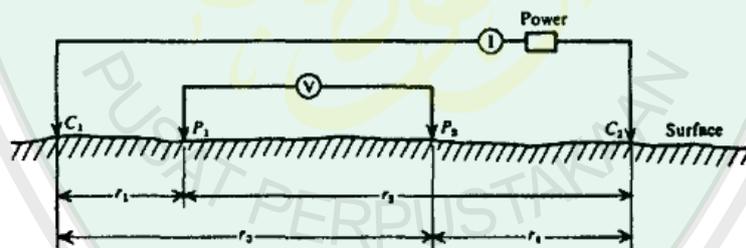
Persamaan (2.18) merupakan persamaan ekuipotensial permukaan setengah bola yang tertanam di bawah permukaan tanah (Telford, 1990).



Gambar 2.11 Sumber arus berupa titik pada permukaan bumi homogen (Sumber: Telford, 1990).

2.7.2 Dua Titik Arus di Permukaan

Saat memasukkan dua arus pada elektroda seperti pada gambar di bawah ini, potensial yang dekat pada titik permukaan akan dipengaruhi oleh kedua arus elektroda tersebut.



Gambar 2.12 Sumber Arus Dua Titik pada Permukaan Homogen Isotropis (Telford, 1990)

Potensial yang disebabkan C1 pada P1 adalah

$$V_1 = -\frac{A_1}{r_1} \text{ dimana } A_1 = -\frac{I\rho}{2\pi}$$

$$V_2 = -\frac{A_2}{r_2} \text{ dimana } A_2 = -\frac{I\rho}{2\pi} = -A_1, \quad (2.19)$$

(karena arus pada dua elektrode sama dan berlawanan arah) sehingga diperoleh

$$V_1 + V_2 = \frac{I\rho}{2\pi} \left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} \right) \quad (2.20)$$

Setelah diketahui potensial elektrode yang kedua pada P2 sehingga dapat mengukur perbedaan potensial antara P1 dan P2 maka akan terjadi

$$\Delta V = \frac{I\rho}{2\pi} \left\{ \left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} \right) - \left(\frac{1}{r_3} - \frac{1}{r_4} \right) \right\} \quad (2.21)$$

Dimana:

ΔV : beda potensial antara P1 dan P2

I : arus (A)

ρ : resistivitas (Ωm)

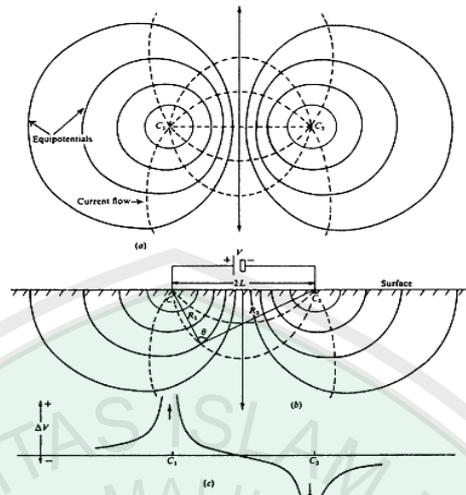
r_1 : jarak A ke M (m)

r_2 : jarak M ke B (m)

r_3 : jarak A ke N (m)

r_4 : jarak N ke B (m)

Hubungan yang tersusun pada empat elektrode yang menyebar secara normal digunakan dalam resistivitas medan gaya. Pada konfigurasi ini garis aliran arus dan bidang equipotensial yang berubah bentuk disebabkan oleh dekatnya elektrode arus yang kedua C2. Ditunjukkan pada gambar di bawah ini dengan garis arus orthogonal. Perubahan bentuk dari equipotensial terbukti dalam wilayah diantara arus elektrode.



Gambar 2.13 Perubahan Bentuk pada Bidang Equipotensial dan Garis Aliran Arus untuk Dua Titik Sumber Arus pada Permukaan Tanah Homogen (Telford, 1990)

BAB III METODE PENELITIAN

3.1 Tempat Penelitian

Penelitian ini dilakukan pada tanggal 7 Mei 2016. Tempat penelitian terletak di lokasi situs Biting di Desa Kutorenon, Kecamatan Sukodono, Kabupaten Lumajang, Jawa Timur, di khususkan di blok salak. terletak pada posisi $8^{\circ} 4' 48.49''$ Lintang Selatan dan $113^{\circ} 13' 42.3''$ Bujur Timur Pengolahan data bertempat di laboratorium Geofisika Jurusan Fisika Fakultas SAINTEK Universitas Islam Negeri (UIN) Maulana Malik Ibrahim Malang



Gambar 3.1 Peta blok Salak

3.2 Data Penelitian

Data yang diambil dalam penelitian ini adalah:

- a. Jarak spasi antar elektrode
- b. Ketinggian titik ukur (*datum point*)
- c. Data geolistrik dari *resistivitymeter*, meliputi:
 - Nilai beda potensial (ΔV)
 - Nilai kuat arus (I)

3.3 Instrumentasi Penelitian

Penelitian ini dilakukan dengan menggunakan peralatan sebagai berikut:

1. *Resistivity meter* merek Oyo type McOhm-El model-2219d 1 unit



Gambar 3.2 Resitivity meter merek oyo

2. Elektroda arus 2 unit
3. Elektroda potensial 2 unit
4. Kabel arus 2 roll
5. Kabel potensial 2 roll
6. GPS (Global Positioning System) 1 unit
7. Meteran (100 meter) 1 roll
8. Penjepit buaya 4 buah
9. Accu (5 Ampere/12 volt) 1 unit

10. Palu geologi untuk menancapkan elektroda 3 buah
11. Alat Tulis Dan Clipboard 1 set
12. Personal Computer dengan Windows Operating System
13. Microsoft Office Excel
14. Software program Res2Dinv
15. Software program Corel Draw

3.4 Prosedur Pelaksanaan Penelitian

Penelitian ini meliputi studi awal (kepuustakaan), tahap perencanaan, tahap pengambilan data (akuisisi data), pengolahan data, interpretasi dan analisis terhadap hasil pengolahan data. Pada penelitian ini, target yang dinalisa adalah data anomali resistivitas, kemungkinan adanya situs batuan yang masih terpendam di area penelitian.

3.4.1 Studi Awal

Studi awal merupakan studi kepuustakaan (literatur) sebelum melakukan perencanaan penelitian. Penguasaan dasar keilmuan dan wawasan terhadap ilmu yang di bidangi terutama terhadap topik penelitian menjadi kewajiban dan keperluan mendasar sebelum melakukan penelitian. Geofisika dan fisika dalam hal ini menjadi perhatian khusus sebagai dasar keilmuan dan *skill* untuk tahapan proses penelitian selanjutnya. Hasil studi awal ini kemudian dapat dijadikan penunjang dan pertimbangan pada tahapan berikutnya, yaitu penentuan lokasi penelitian yang ideal dan tepat sasaran.

3.4.2 Tahap Perencanaan Lokasi Penelitian

Dengan penguasaan penuh terhadap dasar keilmuan, dan pengetahuan serta kajian topik penelitian, maka tahapan perencanaan mengenai lokasi penelitian dapat dilakukan. Adapun tahapan-tahapan perencanaan lokasi penelitian meliputi penentuan lokasi penelitian, survei lokasi penelitian dan penentuan lintasan pengukuran pada lokasi penelitian.

Pemilihan lokasi penelitian dilakukan berdasarkan pertimbangan-pertimbangan dasar keilmuan geologi, geofisika, target, potensi, dan manfaat. Survei lokasi penelitian sangat penting dilakukan sebelum melakukan penelitian untuk orientasi lapangan dan pengamatan kondisi geologi dan merupakan syarat mutlak untuk penentuan titik ataupun lintasan pengukuran dalam akuisisi data yang akan dilakukan. Panduan tersebut dijadikan informasi dan sebagai bahan pertimbangan dalam menentukan perencanaan lokasi lintasan, metode, pendekatan dan jenis konfigurasi elektrode yang akan diterapkan, posisi dan jarak bentangan atau spasi elektrode dan panjang lintasannya.

3.4.3 Tahap Akuisisi Data

Akuisisi data dilakukan di daerah sekitar situs Biting yang terletak di desa Kutorenon, kecamatan Sukodono, Kabupaten Lumajang. Akuisisi atau pengambilan data merupakan tahapan pelaksanaan yang sangat penting sehingga prosedur pengukuran yang dilakukan di lapangan ini sangat perlu diperhatikan dengan baik.

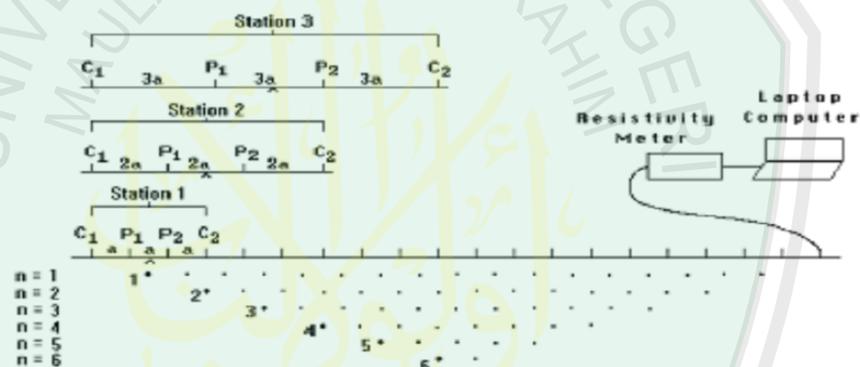
Terdapat beberapa hal yang perlu diperhatikan dalam proses pengambilan data menggunakan metode geolistrik resistivitas ini. Pengukuran menggunakan

metode ini harus dilakukan dengan teliti dan benar, khususnya terkait dengan lintasan pengukuran yang harus sepanjang dengan lintasannya, ketepatan panjang bentangan atau jarak spasi antar elektrode pada setiap pengukuran (pemindahan elektrode arus dan potensial) serta pencatatan data nilai koordinat dan topografi dari GPS pada setiap titik datum point. Perlu diperhatikan bahwa perpindahan dan pemasangan elektrode harus sesuai dengan konfigurasi yang digunakan dalam penelitian ini digunakan konfigurasi Wenner dan diatur dengan benar agar diperoleh hasil akuisisi data yang akurat. Penempatan elektrode (arus dan potensial) yang tertancap pada kedalaman bawah permukaan harus benar (± 15 cm). Kabel arus dan kabel potensial juga harus terpasang dengan benar sesuai dengan jenis elektrodanya. Pemilihan jenis konfigurasi dalam penelitian ini didasarkan atas kemudahan prinsip baik dalam pengambilan dan pengolahan data. Selain itu, jenis konfigurasi ini cocok digunakan dalam mengetahui batuan penyusun di bawah permukaan karena dapat memberikan distribusi datum point yang rapat dan merata secara lateral. Target kedalaman lapisan bawah permukaan yang akan dicapai dalam penelitian ini ialah ± 4 meter.

Akuisisi data *mapping* di area situs Biting khususnya blok Salak ini terdiri dari 7 lintasan. Adapun panjang masing-masing lintasan pengukuran adalah ± 26 meter dengan posisi 2 lintasan ditempatkan sejajar melewati sisi kanan dan kiri bangunan situs, 1 lintasan ditempatkan lurus di depan situs dengan memotong 2 lintasan lain, 2 lintasan ditempatkan di belakang rumah warga yang kelihatan ada sisa batu dari situs dan 2 lintasan tersebut saling memotong, 2 lintasan ditempatkan di belakang perumahan yang kelihatan sisa batu situs yang terkena

buldoser dan lintasan tersebut sejajar. Penentuan posisi lintasan pengukuran ini sesuai dengan target yang diinginkan, yaitu melokalisir area situs biting khususnya blok salak.

Pengukuran metode geolistrik konfigurasi Wenner-Mapping ini dilakukan dengan menginjeksikan arus pada permukaan tanah oleh *resistivitymeter* melalui dua elektrode arus, selanjutnya akan dihasilkan nilai beda potensial ΔV dari variasi batuan bawah permukaan yang terukur pada *resistivitymeter* yang dihasilkan dari dua buah elektrode potensial V .



Gambar 3.3 Konfigurasi Wenner Mapping

Pengambilan data dilakukan sesuai dengan konfigurasi yang dipakai yaitu konfigurasi Wenner. Pengukuran dimulai dengan mengukur jarak antar elektrode, kemudian elektrode arus (C₁C₂) dan elektrode potensial (P₁P₂) ditancapkan sesuai dengan konfigurasi Wenner. Setelah itu, ditembakkan arus ke dalam tanah dan dicatat nilai beda potensial (ΔV), kuat arus (I), hambatan (R), *datum point*, dan jarak elektrode. Elektrode dipindahkan kembali dengan penambahan jarak spasi untuk elektrode arus dan elektrode potensialnya. Pengukuran dilakukan dengan

menginjeksikan arus dan mengukur beda potensialnya. Akuisisi data seperti langkah tersebut dilakukan hingga *datum point* lintasan yang terakhir.

Sebagai contoh: Mula-mula diambil jarak AM (C_1C_2) = MN (P_1P_2) = NB (P_2C_2) = a dan pembacaan dilakukan untuk setiap perubahan AB dan MN = na. Untuk perubahan elektrode arus dan potensial sebesar 2 m, maka kedalaman lapisan tanah pertama yang dapat ditembus (titik datum) sebesar z_1 yaitu 3 m.

3.4.4 Tahap Pengolahan Data

Pengolahan data (*data processing*) adalah semua proses yang dilakukan terhadap data lapangan meliputi perhitungan, inversi, dan analisa. Dalam pengolahan data geolistrik ini, *mapping ERT* yang di peroleh dari hasil akuisisi data harus dilakukan perhitungan terlebih dahulu untuk menentukan besar faktor geometri (k) pada lintasan yaitu $k = 2\pi a$. Setelah nilai k di dapat, selanjutnya menentukan nilai resistivitas semu ($\rho_a = 2\pi a V/I$). Data hasil pengukuran yang telah didapat kemudian diolah menggunakan *Microsoft Office Excel* dengan memasukkan nilai variabel-variabel di atas sehingga akan didapatkan nilai resistivitas semu (ρ_a).

Data Mapping ERT dilakukan pengolahan dengan menggunakan software *Res2dinV* untuk memperoleh gambaran penampang 2 dimensi horizontal dan vertikal lapisan bawah permukaan. Data masukan berupa *file* dengan ekstensi DAT yang terdiri dari datum point, spasi elektrode (a), factor (k), dan nilai resistivitas semu (ρ_a). Program ini akan membaca data tersebut yang kemudian akan menampilkan hasil inversinya berupa penampang kondisi lapisan bawah permukaan daerah penelitian (*pseudosection*).

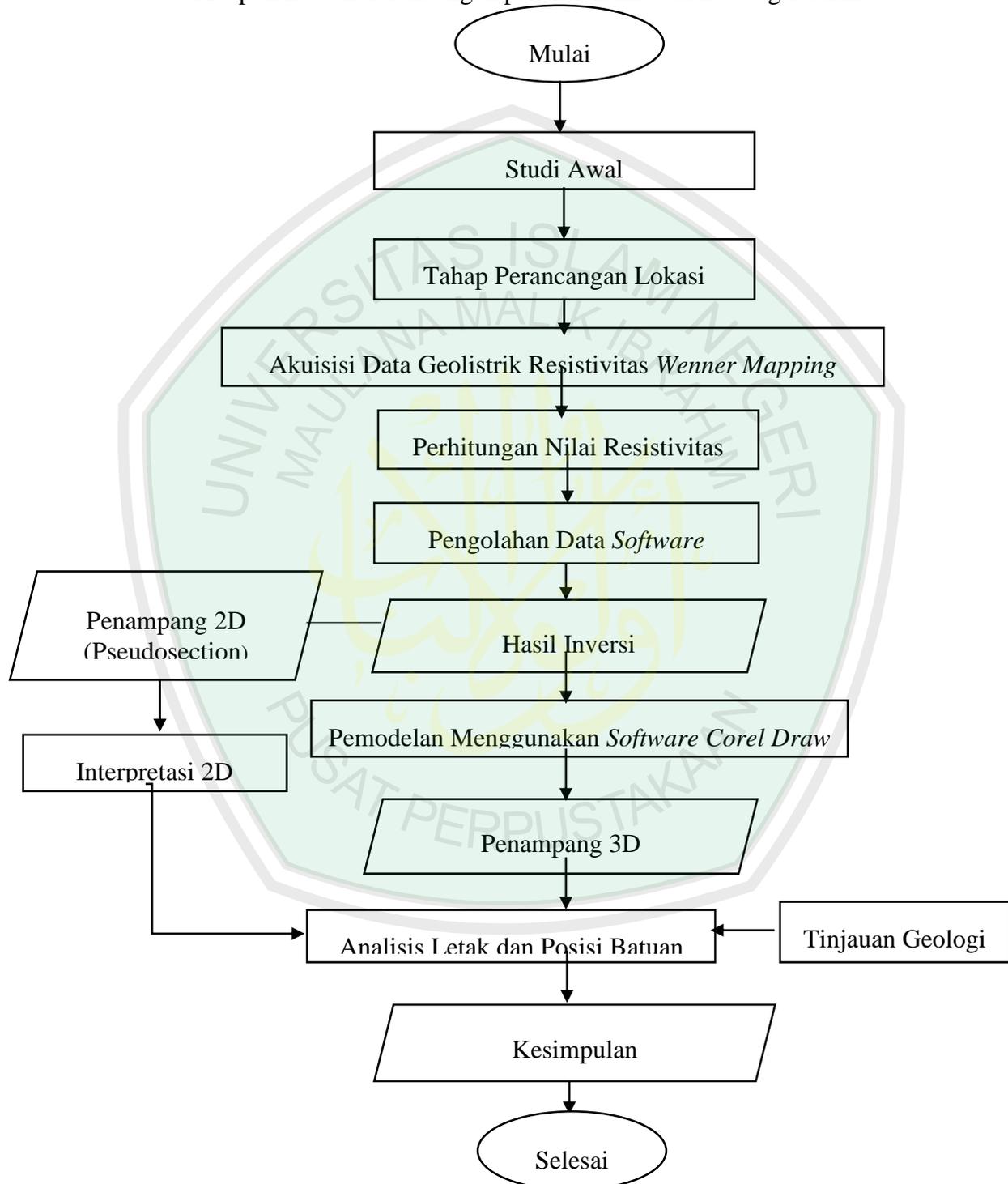
Untuk pengolahan data menjadi model penampang 3 dimensi, terlebih dahulu hasil *pseudosection* dimasukkan ke *Software Corel Draw*. Kemudian 7 hasil *pseudosection* dimodelkan sesuai dengan letak lintasan sehingga didapatkan model penampang 3D.

3.4.5 Tahap Interpretasi Data

Interpretasi data merupakan langkah akhir penelitian yang dilakukan. Pada tahapan ini, dilakukan analisa dan penafsiran terhadap hasil penelitian untuk dapat mengetahui mengenai gambaran kondisi lapisan batuan penyusun bawah permukaan daerah penelitian. Interpretasi data dilakukan dengan cara membandingkan dan mencocokkan variasi nilai resistivitas (ρ) material batuan hasil inversi pengolahan data dengan nilai resistivitas pada tabel resistivitas material batuan dari beberapa referensi, sehingga jenis litologi bawah permukaan daerah penelitian akan dapat diketahui secara detail. Selain itu, dengan model penampang 3D yang telah diperoleh, maka sebaran posisi batuan penyusun candi dan kemungkinan batuan candi yang masih terpendam di bawah permukaan dapat diduga.

3.5 Skema Kerja Geolistrik Konfigurasi Wenner

Adapun flowchart rancangan penelitian ini adalah sebagai berikut:



Gambar 3.4 Flowchart penelitian dengan metode geolistrik tahanan jenis konfigurasi wenner

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil Penelitian

Metode geolistrik resistivitas merupakan salah satu metode geofisika yang berdasarkan pada konsep sifat kelistrikan medium atau formasi batuan di bawah permukaan bumi. Metode ini digunakan untuk mengetahui kondisi geologi bawah permukaan suatu daerah tertentu. Konfigurasi yang digunakan dalam penelitian ini yaitu konfigurasi Wenner. Konfigurasi ini digunakan untuk mengetahui komponen atau formasi batuan penyusun bawah permukaan suatu daerah secara *mapping*. Dimana dengan memperkirakan bahwa pengukuran secara *mapping* memiliki sensitivitas terhadap variasi secara lateral pada kedalaman tertentu sesuai dengan jarak elektrode yang digunakan.

Pada penelitian ini akuisisi data dilakukan di sekitar daerah wilayah situs biting kabupaten Lumajang khususnya blok salak dengan tujuh lintasan pada daerah penelitian. Situs pada umumnya tersusun atas batuan andesit, akan tetapi situs Biting tersusun atas batu bata merah. Hal ini yang menjadi salah satu pemilihan lokasi tersebut sebagai tempat penelitian dan pemilihan lokasi karena daerah situsnya yang luas untuk *mapping*, tetapi juga karena belum terdapatnya data informasi mengenai nilai resistivitas bawah permukaan dan struktur bawah permukaan situs Biting.

Penelitian ini menitik beratkan pada penyelidikan keberadaan batuan situs yang mungkin masih terkubur di sekitar lokasi situs Biting khususnya blok Salak yang terletak di Desa Kutorenon Kecamatan Sukodono Kabupaten Lumajang

menggunakan metode geolistrik resistivitas dengan pemodelan *Electrical Resistivity Tomography (ERT)*. Penggunaan metode geolistrik *Mapping-Wenner* beserta pemodelan ERT dalam pengolahan data penelitian ini dilakukan dengan maksud untuk mendapatkan bentuk 2D dan 3D dari nilai resistivitas geologi bawah permukaan sehingga memungkinkan untuk mendapatkan hasil interpretasi yang representatif dan menyeluruh, serta dapat melokalisir penyebaran batuan yang mungkin masih terpendam sehingga dapat dipakai acuan dalam pengembangan pemeliharaan situs Biting selanjutnya.

Dari penelitian yang telah dilakukan, ditentukan tujuh lintasan penelitian. Adapun panjang masing-masing lintasan pengukuran adalah ± 26 meter dan spasinya 2, dengan posisi 2 lintasan ditempatkan sejajar melewati sisi kanan dan kiri bangunan situs, 1 lintasan ditempatkan lurus di depan situs dengan memotong 2 lintasan lain, 2 lintasan ditempatkan di belakang rumah warga yang kelihatan ada sisa batu dari situs dan 2 lintasan tersebut saling memotong, 2 lintasan ditempatkan di belakang perumahan yang kelihatan sisa batu situs yang terkena bulldoser dan lintasan tersebut sejajar. Penentuan posisi lintasan pengukuran ini sesuai dengan target yang diinginkan, yaitu melokalisir area situs biting khususnya blok salak.

Dari akuisisi data diperoleh nilai kuat arus, hambatan dan beda potensial tiap titik lintasan. Ketiga parameter ini digunakan untuk mencari nilai faktor geometris untuk konfigurasi Wenner dengan menggunakan persamaan $k = 2\pi a$ dan nilai resistivitas semu di daerah penelitian dengan menggunakan persamaan 2.13.

Dalam tahap pengolahan data pertama yaitu melakukan perhitungan dengan menggunakan *software Microsoft excel*, selanjutnya data hasil perhitungan disimpan pada *notepad* dalam bentuk *.dat* (read: dot dat). Kemudian dilanjutkan dengan pemodelan 2D dengan menggunakan *software Res2dinV*. Dengan *software* ini dapat diketahui nilai RMS error, model bawah permukaan tiap lapisan dan nilai resistivitas batuan bawah permukaan. Model dari hasil *Res2dinV* ini yang akan memberikan informasi mengenai kondisi bawah permukaan tempat daerah penelitian, sehingga dapat diinterpretasi komponen penyusun tiap lapisan berdasarkan nilai hambatan jenis yang ditunjukkan oleh gradasi warna dan dikorelasikan dengan keadaan geologi tempat penelitian agar didapatkan informasi yang tepat dan akurat. Selanjutnya, dimodelkan dalam bentuk 3D dengan menggunakan *software Corel Draw* untuk mengetahui sebaran penyusun situs.

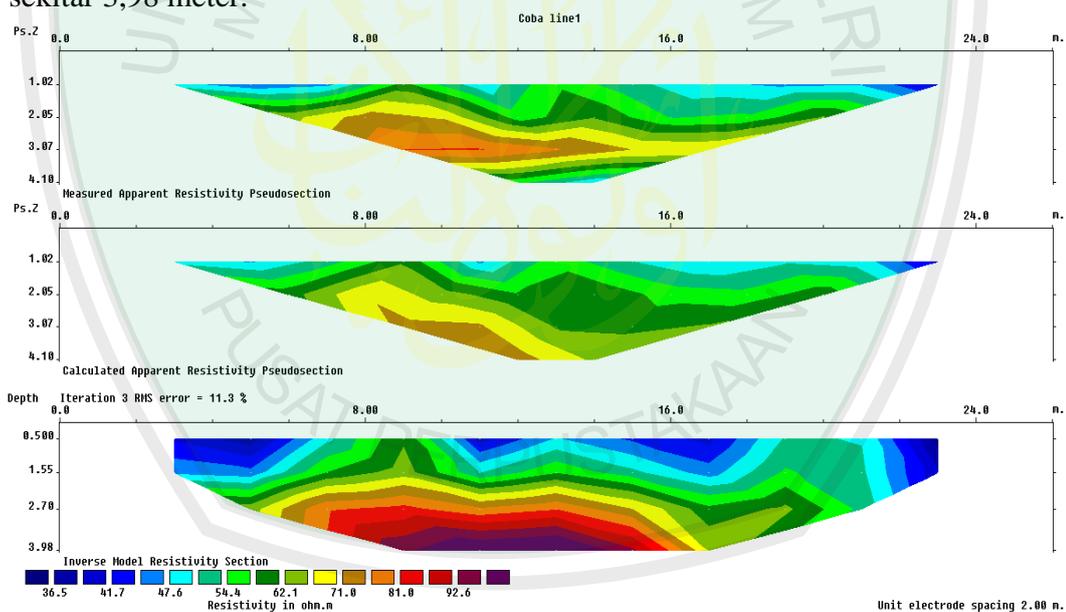
Wilayah Kabupaten Lumajang merupakan wilayah dengan karakteristik geologi yang cukup beragam yaitu aluvium, endapan pantai, lava parasit kepulo semeru, lava parasit semeru, batuan gunungapi semeru, batuan gunungapi tengger, batuan gunungapi jembangan, batuan gunungapi lamongan, breksi argopuro, tuf argopuro, gumuk gunungapi, formasi puger, formasi mandalika, batuan terobosan. Di daerah Sukodono dan tempat penelitian, batuan yang menyusun adalah Aluvium yang berupa lempung, lumpur, pasir, kerikil, kerakal dan bongkah. Daerah Lumajang daerah yang subur, sehingga daerah ini cocok untuk lahan pertanian dan pemukiman.

4.1.1 Pemodelan Resistivity 2D

Pada pemodelan resistivity 2D ini, akan dibahas mengenai material atau batuan penyusun bawah permukaan masing-masing lintasan pengukuran. Penentuan jenis batuan penyusun diperoleh berdasarkan nilai tahanan jenis yang ditunjukkan oleh gradasi warna pada pemodelan 2D hasil inversi

1. Lintasan 1 (*mapping line-1*)

Lintasan 1 merupakan lintasan yang berada disebelah barat depan situs. Berdasarkan hasil pemodelan 2D pada lintasan 1 (Gambar 4.1), diperoleh model lapisan bawah permukaan dengan bentangan sekitar 26 meter dan kedalaman sekitar 3,98 meter.



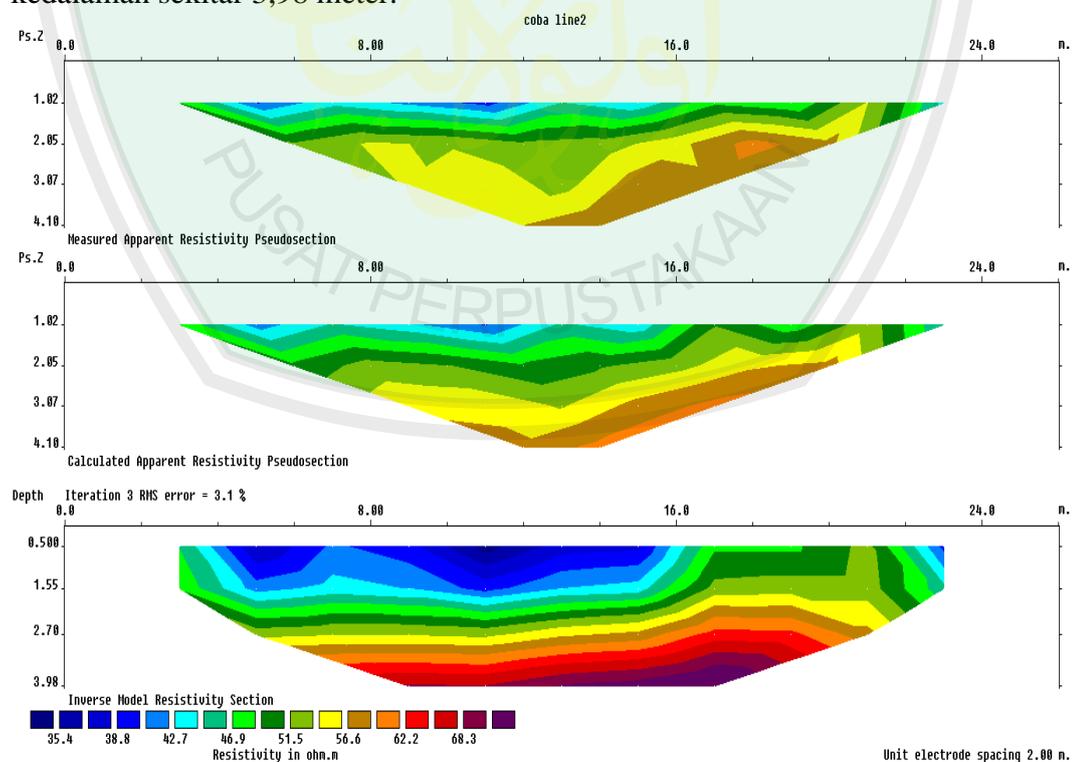
Gambar 4.1 Model inversi 2D lapisan bawah permukaan lintasan 1

Hasil pengolahan data geolistrik blok Salak *Mapping line-1* dengan menggunakan 3 iterasi didapatkan *RMS error* 11,3 %. Dari hasil model inversi diperoleh nilai tahanan jenis yang berkisar antara 36,5 Ω m hingga 92,6 Ω m.

berdasarkan tabel resistivitas (Tabel 2.1 dan Tabel 2.2) dapat diprediksi material penyusun lapisan bawah permukaan. Hasil interpretasi dapat diprediksi bahwa citra warna  menunjukkan nilai hambatan jenis antara 36,5 Ω m–9,1 Ω m sebagai lapisan lempung berada pada kedalaman 0,5 m–1,55 meter, untuk citra warna  nilai tahanan jenis antara 41,7 Ω m–92,6 Ω m diprediksi sebagai lempung pasir (batu bata merah) berada pada kedalaman 1,55m–3,98 meter.

2. Lintasan 2 (*mapping line-2*)

Lintasan 2 merupakan lintasan yang berada disebelah selatan situs (menara intai). Berdasarkan hasil pemodelan 2D pada lintasan 2 (Gambar 4.2), diperoleh model lapisan bawah permukaan dengan bentangan sekitar 26 meter dan kedalaman sekitar 3,98 meter.

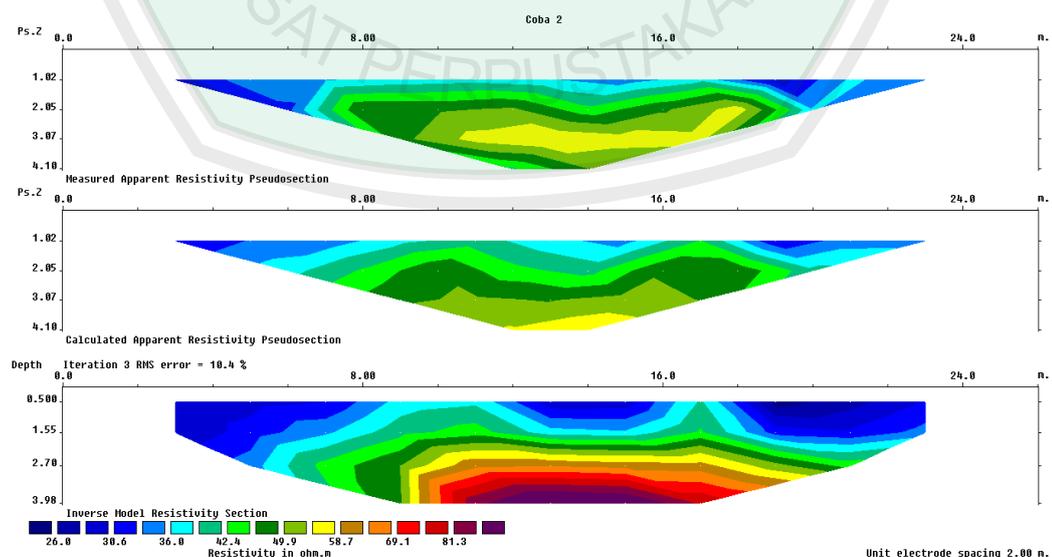


Gambar 4.2 Model inversi 2D lapisan bawah permukaan lintasan 2

Hasil pengolahan data geolistrik blok Salak *Mapping line-2* dengan menggunakan 3 iterasi didapatkan *RMS error* 3,1 %. Dari hasil model inversi diperoleh nilai tahanan jenis yang berkisar antara 35,4 Ω m hingga 68,3 Ω m. Berdasarkan tabel resistivitas (Tabel 2.1 dan Tabel 2.2) dapat diprediksi material penyusun lapisan bawah permukaan. Hasil interpretasi dapat diprediksi bahwa citra warna ■■■■■■ menunjukkan nilai hambatan jenis antara 35,4 Ω m–42,7 Ω m sebagai lapisan lempung berada pada kedalaman 0,5m–1,55 meter, untuk citra warna ■■■■■■ nilai tahanan jenis antara 44,8 Ω m–68,3 Ω m diprediksi sebagai lempung pasir (batu bata merah) berada pada kedalaman 1,55m–3,98meter.

3. Lintasan 3 (*mapping line-3*)

Lintasan 3 merupakan lintasan yang berada disebelah utara situs. Berdasarkan hasil pemodelan 2D pada lintasan 3 (Gambar 4.3), diperoleh model lapisan bawah permukaan dengan bentangan sekitar 26 meter dan kedalaman sekitar 3,98 meter.

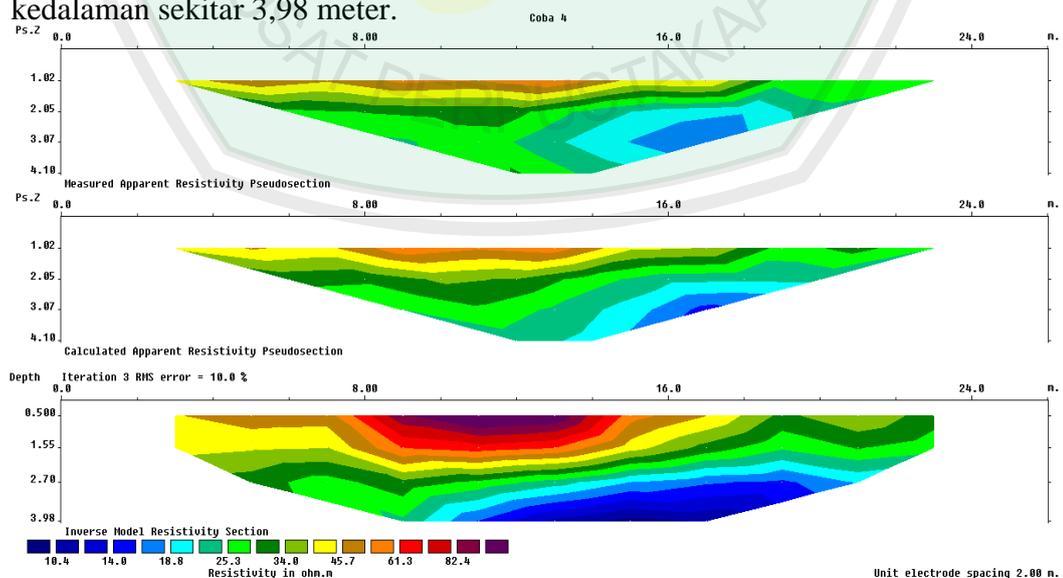


Gambar 4.3 Model inversi 2D lapisan bawah permukaan lintasan 3

Hasil pengolahan data geolistrik blok Salak *Mapping line-3* dengan menggunakan 3 iterasi didapatkan RMS *error* 10,4 %. Dari hasil model inversi diperoleh nilai tahanan jenis yang berkisar antara 26 Ωm hingga 81,3 Ωm . Berdasarkan tabel resistivitas (Tabel 2.1 dan Tabel 2.2) dapat diprediksi material penyusun lapisan bawah permukaan. Hasil interpretasi dapat diprediksi bahwa citra warna  menunjukkan nilai hambatan jenis antara 26 Ωm –42,2 Ωm sebagai lapisan lempung berada pada kedalaman 0,5m–2,7 meter, untuk citra warna  menunjukkan 46,05 Ωm –81,3 Ωm diprediksi sebagai lapisan lempung pasir (batu bata merah) pada kedalaman 2,7m–3,98 meter.

4. Lintasan 4 (*mapping line-4*)

Lintasan 4 merupakan lintasan yang berada ± 67 meter keselatan dari situs (menara intai). Berdasarkan hasil pemodelan 2D pada lintasan 4 (Gambar 4.4), diperoleh model lapisan bawah permukaan dengan bentangan sekitar 26 meter dan kedalaman sekitar 3,98 meter.



Gambar 4.4 Model inversi 2D lapisan bawah permukaan lintasan 4

Gambar 4.7 Model inversi 2D lapisan bawah permukaan lintasan 7

Hasil pengolahan data geolistrik blok Salak *Mapping line-7* dengan menggunakan 3 iterasi didapatkan RMS *error* 11,4 %. Dari hasil model inversi diperoleh nilai tahanan jenis yang berkisar antara $16\Omega\text{m}$ hingga $47,5\Omega\text{m}$. Berdasarkan tabel resistivitas (Tabel 2.1 dan Tabel 2.2) dapat diprediksi material penyusun lapisan bawah permukaan. Hasil interpretasi dapat diprediksi bahwa citra warna  menunjukkan nilai hambatan jenis antara $15,9\Omega\text{m}$ – $29,8\Omega\text{m}$ sebagai lapisan lempung berada pada kedalaman 0,5m–2,7 meter, untuk citra warna  menunjukkan nilai tahanan jenis antara $34,8\Omega\text{m}$ – $47,5\Omega\text{m}$ diprediksi sebagai lapisan lempung pasiran (batu bata merah) pada kedalaman 0,5m–3,98 meter.

4.1.2 Analisa Batuan Penyusun Bawah Permukaan Daerah Situs Biting khususnya di blok Salak

Dari hasil interpretasi dari ke tujuh lintasan, bahwasannya batuan atau material penyusun lapisan bawah permukaan ke tujuh lintasan relatif sama yang terdiri dari 5 jenis material yaitu lapisan lempung, lempung pasiran (batu bata merah), pasir dan kerikil.

Batuan merupakan material bawah permukaan yang dapat memiliki kemampuan dalam menghantarkan arus listrik dan memiliki nilai resistivitas tertentu pada masing-masing batuan. Batuan yang sama belum tentu memiliki nilai resistivitas yang sama begitu juga sebaliknya. Hal ini dapat terjadi karena setiap batuan memiliki nilai rentang resistivitas yang dapat saling *overlap*. Oleh

karena itu, perlu dilakukan korelasi antara kondisi geologi daerah tersebut dengan hasil pengukuran.

Struktur bawah permukaan daerah penelitian dengan kedalaman 3.98 meter terdiri dari beberapa lapisan yaitu lapisan paling atas merupakan lapisan lempung, lempung pasir (batu bata merah), pasir, dan kerikil.

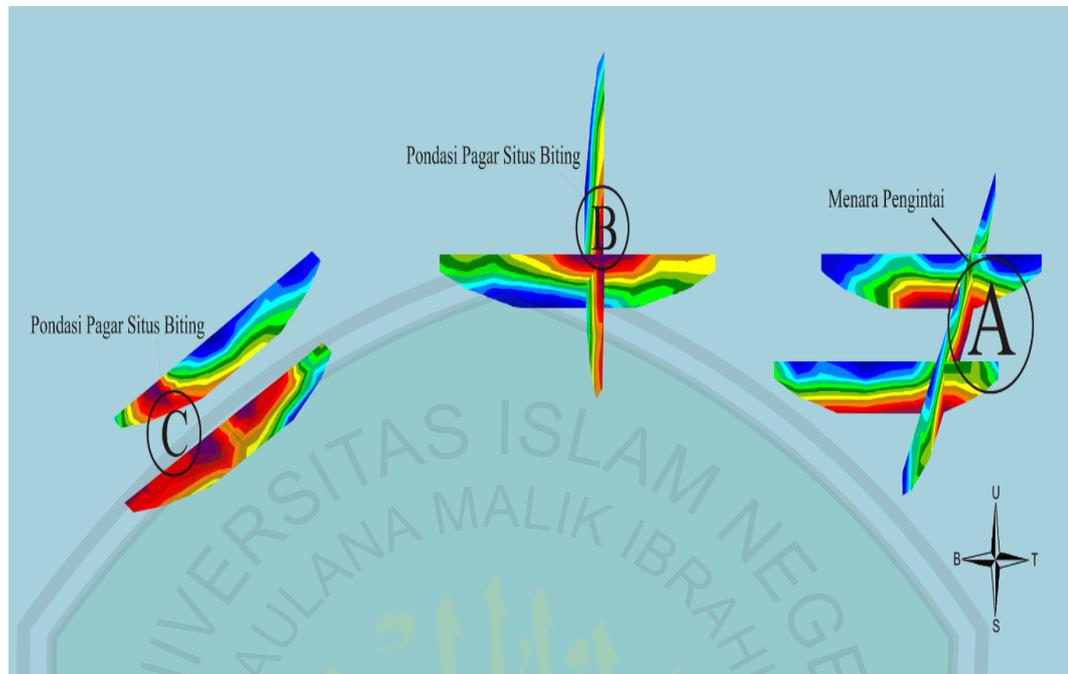
- a) Lempung merupakan batuan yang termasuk batuan sedimen klastik dengan ukuran butir berdiameter dibawah 4 mikron dan tersusun secara dominan oleh silika. Lempung biasanya berwarna hitam, merah dan kelabu. Lempung merupakan batuan yang dihasilkan dari proses pelapukan batuan silika oleh asam karbonat dan sebagian dihasilkan dari aktivitas panas bumi. Lempung ini memiliki harga resistivitas sebesar $10,4\Omega\text{m}$ – $42,2\Omega\text{m}$ dengan kedalaman 2,7–3,98 meter.
- b) Lempung pasir (batu bata merah) merupakan campuran batuan yang berasal dari lempung dan pasir. Biasanya volume unsur dari lempung lebih banyak dari pasir atau bisa juga sebaliknya. Lempung pasir berada pada kedalaman 0,5–3,98 meter dengan harga resistivitas $34,8\Omega\text{m}$ – $92,6\Omega\text{m}$.
- c) Pasir dan kerikil merupakan jenis batuan sedimen yang tersusun antara campuran pasir dan kerikil berdasarkan perbandingan volume dari setiap unsur yang dikandungnya. Perbedaan keduanya terdapat pada ukuran butirannya, untuk pasir memiliki ukuran butir sebesar 0,15–5mm. sedangkan kerikil memiliki ukuran butir sebesar 5–40mm. batuan pasir dan kerikil ditemukan pada kedalaman 0,5–1,55m dengan harga

resistivitas sebesar $100\Omega\text{m}$ – $122\Omega\text{m}$. Batuan ini memiliki kemampuan yang baik dalam mengalirkan air.

Berdasarkan lapisan penyusun batuan dari ketujuh lintasan dan dikorelasikan dengan peta geologi tempat penelitian maka batuan di daerah situs biting khususnya blok salak merupakan lempung pasir (batu bata merah) nilai resistivitasnya sebesar $34,8\Omega\text{m}$ – $92,6\Omega\text{m}$. Batu bata merah memiliki nilai resistivitas yang tinggi karena batu bata merah terbuat dari tanah liat yang dibakar sampai berwarna kemerah-merahan dan termasuk bahan isolator.

4.1.3 Model penampang 3 Dimensi (*Electrical Resistivity Tomography*)

Model penampang 3 dimensi menggunakan model panel vertikal yang merupakan gambar hasil pengolahan data geolistrik *Mapping* berupa penampang vertikal (*pseudosection*) yang diubah menjadi 3 dimensi (3D vertikal). Model ERT dalam bentuk model panel vertikal ini memberikan gambaran mengenai kondisi lapisan bawah permukaan dengan korelasi antar setiap lintasan pengukuran (*Salak line*) atau akuisisi data geolistrik *mapping* di lapangan. Melalui transformasi model panel vertikal diharapkan dapat menggambarkan keadaan bawah permukaan dengan berbagai komposisi batuan penyusun, yang salah satunya batu bata merah yang biasa digunakan sebagai material penyusun situs. Model panel vertikal ini diharapkan memudahkan proses interpretasi geologi secara vertikal.



Gambar 4.8 Model panel vertikal area blok salak

Tomografi listrik atau pemodelan *Electrical Resistivity Tomography* (ERT) didapatkan dari data hasil inversi 2 dimensi dari masing-masing lintasan pengukuran dalam penelitian. Hasil pengolahan data dari software Res2dinV tersebut dapat dimodelkan dalam bentuk 3 dimensi (3D) dengan menggunakan bantuan software Corel Draw yang berupa model panel vertikal. Pemodelan ERT ini memberikan gambaran model 3 dimensi mengenai kondisi geologi bawah permukaan daerah penelitian Situs Biting khususnya blok salak.

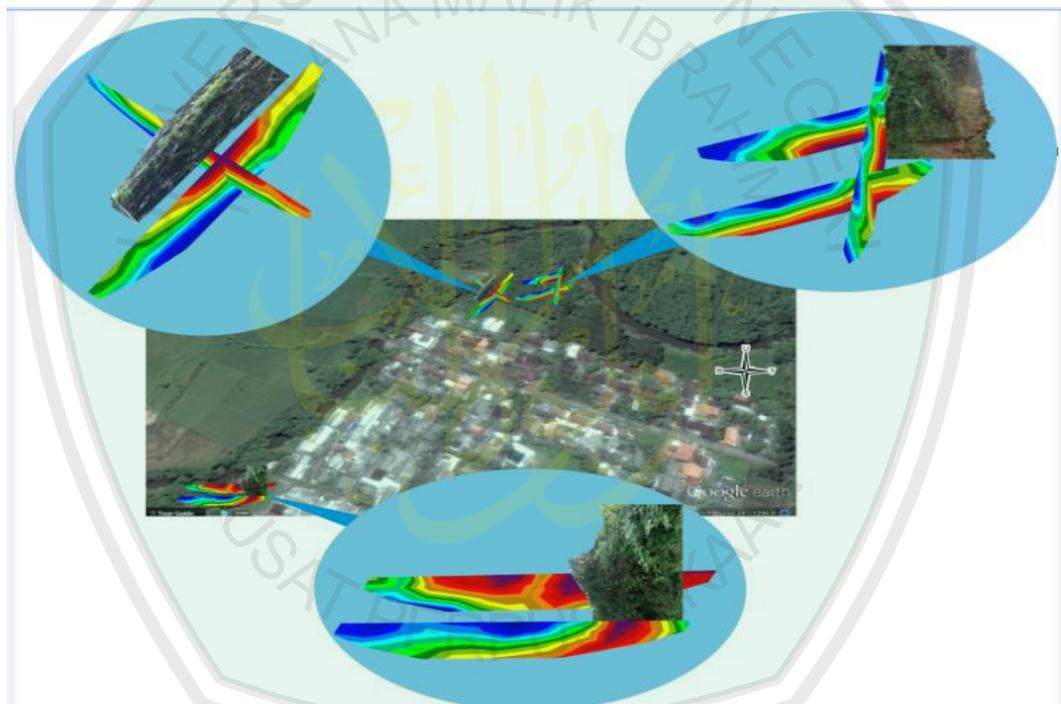
Pada area penelitian ini, batuan batu bata merah sebagai bahan penyusun bangunan situs tersebar di beberapa titik. Pada daerah titik A teridentifikasi citra warna ■ ■ ■ ■ ■ ■ ■ yang diketahui nilai resistivitasnya berkisar antara $35,4\Omega\text{m}$ – $92,6\ \Omega\text{m}$ hingga lebih merupakan nilai resistivitas batuan lempung pasir/batu bata merah (Isdarmadi, 2013) penyusun candi. Dari

pengamatan gambar 4.8, letak posisi daerah A tepat pada titik lokasi menara pengintai yang berada di blok salak. Hal ini mengidentifikasi citra warna daerah A adalah posisi menara pengintai situs yang tersusun oleh batu bata merah.

Pada daerah B teridentifikasi citra warna  yang diketahui nilai resistivitasnya $33, \Omega\text{m}$ – $82,4\Omega\text{m}$ hingga lebih merupakan nilai resistivitas batu bata merah penyusun situs. Dari pengamatan gambar , letak posisi daerah B diduga terusan dari daerah A. Hal ini mengidentifikasi citra warna daerah B diduga posisi pondasi benteng yang masih tersisa dari yang tersusun oleh batu bata merah. Selain itu, di lapangan daerah B menunjukkan adanya gundukan kecil yang terlihat berupa beberapa batu bata merah yang berada di belakang rumah warga dan jarak lokasi antara daerah A dan B sekitar ± 67 meter.

Pada daerah C teridentifikasi citra warna  yang diketahui nilai resistivitasnya $34,8\Omega\text{m}$ – $82,6 \Omega\text{m}$ hingga lebih merupakan nilai resistivitas batu bata merah penyusun situs. Dari pengamatan gambar, letak posisi daerah C diduga terusan dari daerah A dan B. Hal ini mengidentifikasi citra warna daerah C diduga posisi pondasi benteng yang masih tersisa dari terusan daerah A dan B yang tersusun oleh batu bata merah. Selain itu, di lapangan daerah C menunjukkan adanya gundukan kecil yang terlihat berupa beberapa batu bata merah yang berada di belakang kawasan perumahan dan jarak lokasi antara daerah B dan daerah C sekitar ± 247 meter. Pendugaan sementara daerah B dan C adalah pondasi benteng terusan dari daerah A yang tersusun oleh batu bata merah.

Dari hasil pengolahan data geolistrik resistivitas di lintasan pengukuran sekitar situs Biting khususnya blok Salak, dapat diketahui nilai resistivitas batu bata situs yang merupakan batuan penyusun situs Biting. Nilai resistivitas batu bata ini dijadikan sebagai parameter untuk menentukan sebaran dan kedalaman batuan penyusun situs pada lintasan geolistrik di area blok Salak. Hasil pengolahan pada ke-7 lintasan didapatkan nilai resistivitas batu bata berkisar $34,8\Omega\text{m}$ – $92,6\Omega\text{m}$ pada kedalaman $0,5\text{m}$ – $3,98$ meter.



Gambar 4.9 Model panel vertikal 3D area blok salak

4.2 Hasil Pemodelan situs bangunan candi menggunakan metode geolistrik dalam prespektif al-Quran

Dalam Q.S al-Isra' [17]: 44 menegaskan struktur lapisan bumi sebagai berikut:

تُسَبِّحُ لَهُ السَّمَوَاتُ السَّبْعُ وَالْأَرْضُ وَمَنْ فِيهِنَّ وَإِنْ مِنْ شَيْءٍ إِلَّا يُسَبِّحُ بِحَمْدِهِ
وَلَكِنْ لَا تَفْقَهُونَ تَسْبِيحَهُمْ إِنَّهُ كَانَ حَلِيمًا غَفُورًا ﴿٤٤﴾

“Langit yang tujuh, bumi dan semua yang ada di dalamnya bertasbih kepada Allah dan tak ada satupun melainkan bertasbih dengan memuji-Nya, tetapi kamu sekalian tidak mengerti tasbih mereka. Sesungguhnya Dia adalah Maha Penyantun lagi Maha Pengampun.” (Q.S. al-Isra’ [17]: 44)

Setiap lapisan Bumi mempunyai sifat atau kandungan mineral yang berbeda-beda dengan kedalaman lapisan dan keadaan geologi lapisan tersebut. Keadaan lapisan Bumi seringkali tampak dari warnanya, sebagai contoh tanah lempung berwarna kemerah-merahan akan lain sifatnya dengan tanah yang berwarna hitam kecoklat-coklatan. Tanah berbukit yang berwarna putih biasanya banyak mengandung kapur. Untuk mengetahui batuan penyusun yang terletak di bawah permukaan dapat dilakukan beberapa penelitian geofisika seperti geomagnetik, gravity dan geolistrik (al-Qurthubi, 2009).

Metode geolistrik merupakan salah satu metode dalam geofisika yang sukses untuk mengetahui lapisan batuan penyusun bumi yang sifatnya dangkal dan memetakan situs-situs candi yang terpendam. Beberapa ayat al-Quran yang menceritakan kemajuan peradaban dan teknologi yang telah dicapai bangsa-bangsa terdahulu. Al-Quran mendeskripsikan tentang kaum Tsamud yang memahat tebing-tebing yang tinggi untuk dijadikan bangunan (Surat al-A’raf [7]: 74):

وَأَذْكُرُوا إِذْ جَعَلْنَا خُلَفَاءَ مِنْ بَعْدِ عَادٍ وَبَوَّأْنَاكُمْ فِي الْأَرْضِ تَتَّخِذُونَ مِنْ
 سُهُولِهَا قُصُورًا وَتَنْحِتُونَ الْجِبَالَ بُيُوتًا ۖ فَادْكُرُوا ءَالَآءَ اللَّهِ وَلَا تَعْتَوْا فِي
 الْأَرْضِ مُفْسِدِينَ ﴿٧٤﴾

“Dan ingatlah olehmu di waktu Tuhan menjadikan kamu pengganti-pengganti (yang berkuasa) sesudah kaum ‘Aad dan memberikan tempat bagimu di bumi. Kamu dirikan istana-istana di tanah-tanahnya yang datar dan kamu pahat gunung-gunungnya untuk dijadikan rumah; maka ingatlah nikmat-nikmat Allah dan janganlah kamu merajalela di muka bumi membuat kerusakan.” (Q.S. al-A’raf [7]: 74)

Lafadz *tattakhizuuna min suhuulihaa qushuuroo wa tan-hituunal-jibaala buyuutaa* maksudnya bahwa orang-orang terdahulu memahat batu dan melubangi gunung untuk dijadikan sebagai tempat tinggal. Maka, dapat diketahui bahwa memang benar adanya benda-benda terpendam peninggalan zaman dahulu seperti candi, situs, dan arca yang terkubur (ath-Thabari, 2008).

Lebih jauh al-Quran memaparkan tentang bagaimana akhir peradaban bangsa-bangsa terdahulu. Bekas-bekas peninggalan kota-kota terdahulu bahkan masih dapat kita lihat dan temui saat ini. Seperti dijelaskan dalam surat al-Huud [11]: 100:

ذَٰلِكَ مِنْ أَنْبَاءِ الْقُرَىٰ نَقُصُّهُ عَلَيْكَ ۖ مِنْهَا قَائِمٌ وَحَصِيدٌ ﴿١٠٠﴾

“Itu adalah sebaagian dan berita-berita negeri (yang telah dibinasakan) yang Kami ceritakan kepadamu (Muhammad); di antara negeri-negeri itu ada yang masih kedapatan bekas-bekasnya dan ada (pula) yang telah musnah.” (Q.S. al-Huud [11]: 100)

Lafadz *min-haa qooo ‘imun* maksudnya bahwa di antara negeri-negeri terdahulu masih terdapat sisa-sisa bangunan-bangunannya yang tidak hancur,

walaupun penduduknya telah binasa. Diantaranya juga terdapat negeri yang bangunannya masih kokoh. Ada pula negeri yang telah musnah, hingga tak berbekas, telah dihapus jejaknya oleh orang-orang yang belajar. Dapat diketahui pula bahwa banyak peninggalan-peninggalan yang masih terpendam dan ada pula yang sudah tidak diketahui bekasnya, salah satunya situs Biting yang baru-baru ini di ketahui bahwa sebuah situs yang terpendam bekas kerajaan di Lumajang.

Situs Biting terletak di Dusun Biting, Desa Kutorenon, Kecamatan Sukodono, Kabupaten Lumajang Provinsi Jawa Timur. Mayoritas penduduk Lumajang didominasi etnis Madura. Kata Biting sendiri berasal dari bahasa Madura yang berarti 'benteng', atau tembok untuk pertahanan bagi kota raja. Selayaknya sebuah benteng kota, situs Biting meliputi area yang terdiri dari pemukiman, pusat pemerintahan kerajaan, persawahan dan lain sebagainya. Keberadaannya sebagai kota kuno diperkuat dengan temuan arkeologi berupa pondasi bangunan, juga yang diperkirakan bekas keraton. Bekas benteng kota ini juga terdiri dari beberapa menara intai yang terbuat dari bata berukuran besar. Menara intai berdenah segi empat, dan penduduk setempat menyebutnya sebagai pengungkakan, serta terdiri dari pengungkakan I sampai VI.

Dari enam pengungkakan tersebut, tiga diantaranya terletak di sisi barat, sementara di ketiga sisi lainnya juga masing-masing terdapat sebuah pengungkakan. Dari pengungkakan yang masih tampak relatif utuh, yaitu pengungkakan I (gambar 2.4) dan II diketahui bahwa luas masing-masing adalah 7.5 m x 6.5 m dengan tinggi antara 3.8 m - 8m (Abbas, 1992).

Ayat-ayat di atas memberikan banyak pelajaran kepada manusia. Pelajaran pertama yang dapat diambil, adalah bahwa tidak ada kebesaran yang dapat bertahan terhadap kehancuran di dunia ini. Sehebat apapun peradaban yang dibangun, selalu terdapat siklus yang dilalui, yaitu kelahiran, perkembangan, puncak kemajuan, dan masa kemunduran. Hal ini menunjukkan kepada manusia, bahwa hidup di dunia sesungguhnya teramat singkat jika dibandingkan dengan kehidupan di akhirat kelak. Penyalahgunaan nikmat Allah SWT untuk bermegah-megahan dan hidup dalam kemewahan mengakibatkan manusia lalai dan menganggap kehidupan di dunia abadi. Karenanya, sembari mensyukuri segala karunia di dunia, manusia hendaknya tidak melupakan tujuan utamanya untuk meraih kehidupan yang lebih baik dan lebih kekal di akherat kelak.

BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan diperoleh kesimpulan sebagai berikut:

1. Berdasarkan hasil interpretasi pada lintasan pertama sampai lintasan tujuh, maka dapat diketahui dengan kisaran nilai resistivitas antara $34,8\Omega\text{m}$ – $92,6\Omega\text{m}$ diinterpretasikan sebagai batu bata penyusun situs yaitu lempung pasir (batu bata merah) dengan kedalaman $0,5\text{m}$ – $3,98\text{m}$. Batu bata merah memiliki nilai resistivitas tinggi karena termasuk bahan isolator, dimana batu bata merah merupakan tanah liat yang dibakar sampai berwarna kemerah-merahan.
2. Pada penelitian terlihat di daerah A adalah pondasi menara intai. Sedangkan pada daerah B dan C diduga adalah pondasi benteng yang terkoneksi dengan daerah A karena dapat dilihat nilai resistivitasnya berkisar antara $34,8\Omega\text{m}$ – $92,6\Omega\text{m}$ yang menunjukkan nilai resistivitas batu bata penyusun situs.

5.2 Saran

1. Perluas daerah survei untuk melihat kemungkinan adanya batuan penyusun situs yang belum ditemukan.
2. Bagi peneliti yang ingin melakukan penelitian pada daerah situs arkeologi lainnya yang memerlukan data bawah permukaan dapat menggunakan metode

geolistrik dengan konfigurasi Wenner yang paling tepat diaplikasikan pada daerah tersebut.



DAFTAR PUSTAKA

- Al-Qurthubi, Syaikh Imam. 2009. *Al Jami' Li ahkam Al Qur'an*. Jakarta: Pustaka Azzam.
- Ath-Thabari. 2008. *Jami' Al Bayan an Ta'wil Ayi Al Quran*. Jakarta: Pustaka Azzam
- Abbas, Novida. 1992. *Laporan Hasil Penelitian Arkeologi Situs Biting, Kelurahan Kutorenon, Kecamatan Sukodono, Kabupaten Lumajang, Jawa Timur Tahap XI*. Yogyakarta: Balai Arkeologi Yogyakarta.
- Burger, Henry Robert, 1992. *Eksplorasi Geofisika of the Shallow Subsurface*. New Jersey: Prentice Hall
- Djoko, Santoso. 2002. *Pengantar Teknik Geofisika*. Bandung: Departement Teknik Geofisika ITB.
- Hidayat, Mansur. 2012. *Sejarah Lumajang: Melacak Ketokohan Arya Wiraraja dan Keemasan Lamajang Tigang juru*. Denpasar: Cakra Press.
- Hidayat, Mansur. 2013. *Arya Wiraraja dan Lamajang Tigang Juru: Menafsir Ulang Sejarah Majapahit Timur*. Denpasar: Pustaka Larasan.
- Isdarmadi, Kosmos. 2013. *Pendugaan Struktur Bawah Permukaan Peninggalan Purbakla Situs Candi Jabung Probolinggo Menggunakan Metode Geolistrik Resistivitas*. Tugas Akhir Tidak Diterbitkan. Malang: Universitas Brawijaya Malang.
- Moelyadi. 1983. *Dampak Lingkungan Geologi terhadap Pendirian dan Kehancuran Kerajaan Lama Sukodono, Lumajang, Jawa Timur*. Yogyakarta: Jurusan Teknik Geologi Fakultas Teknik Universitas Gadjah Mada.
- Milsom, J. 2003. *Field Geophysics: The Geological Field Guide Series*: University College London.
- Sulistyowati. 2009. *Penentuan Letak dan Kedalaman Akuifer Air Tanah dengan Geolistrik Metode Tahanan Jenis*. Tugas akhir Tidak Diterbitkan. Semarang: Universitas Negeri Semarang.
- S. Suryono, dan K. Takeda. 2003. *Hidrologi Untuk Pengairan*. Jakarta: Pranya Paramita.
- Tachjudin. 1990. *Metode Eksplorasi Tahanan Jenis*. Bandung: ITB Press.

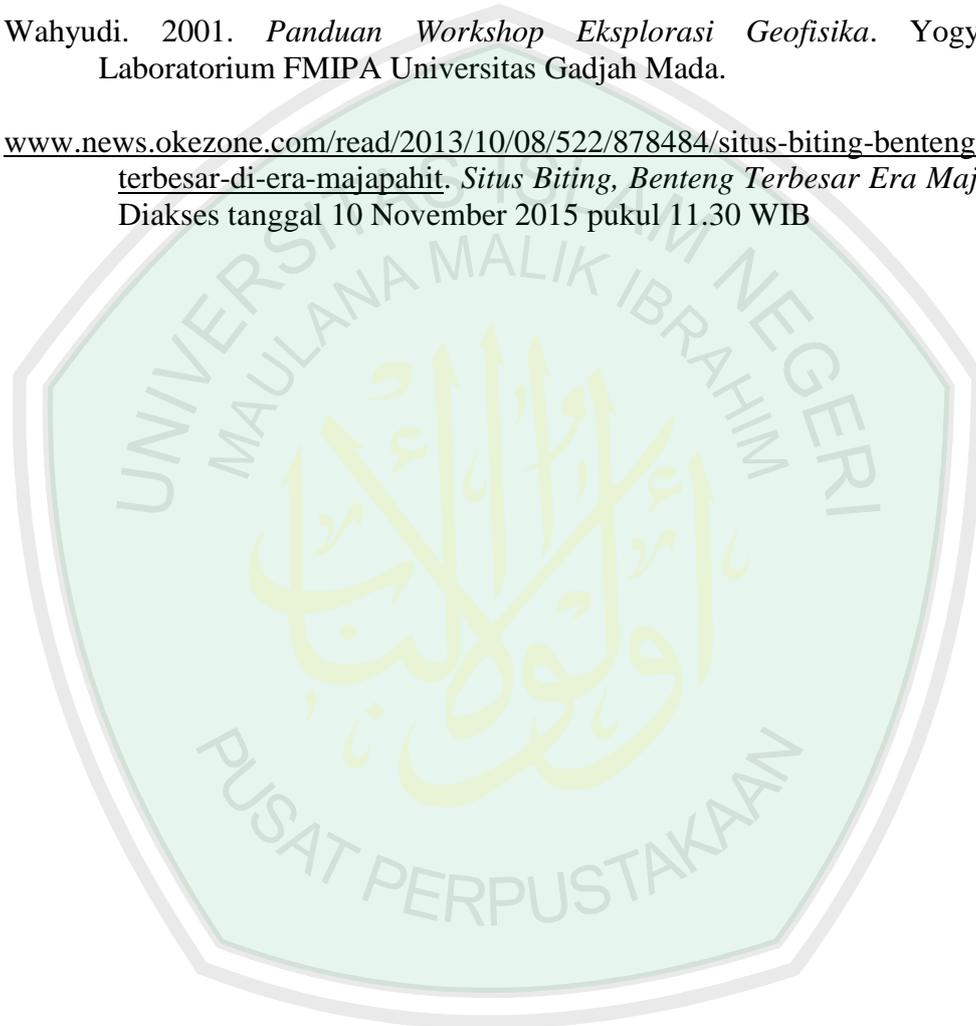
Taib, M.I.T. 2004. *Eksplorasi Geolistrik*. Bandung: ITB Press.

Telford, W.M.; Geldart, L.P.; Sheriff, R.E. 1990, *Applied Geophysics, 2nd Edition*: Cambridge University Press.

Verhoef, P. N. W. 1994. *Geologi Untuk Teknik Sipil Edisi III*. Jakarta: Erlangga.

Wahyudi. 2001. *Panduan Workshop Eksplorasi Geofisika*. Yogyakarta: Laboratorium FMIPA Universitas Gadjah Mada.

www.news.okezone.com/read/2013/10/08/522/878484/situs-biting-benteng-terbesar-di-era-majapahit. *Situs Biting, Benteng Terbesar Era Majapahit*. Diakses tanggal 10 November 2015 pukul 11.30 WIB





LAMPIRAN

LAMPIRAN

Lampiran 1

Data Hasil Penelitian Geolistrik

a. Line 1

Cl	Pl	P2	C2	Datum	R				Rerata	I	a	n	k	Rho
					1	2	3	4						
0	2	4	6	3	3.915	3.915	3.915	3.915	3.915	20.581	2	1	12.56	49.1724
2	4	6	8	5	3.757	3.498	3.498	3.562	3.57875	20.581	2	1	12.56	44.9491
4	6	8	10	7	3.87	3.624	3.623	3.684	3.70025	20.581	2	1	12.56	46.47514
6	8	10	12	9	4.72	4.719	4.719	4.719	4.71925	20.581	2	1	12.56	59.27378
8	10	12	14	11	4.055	3.76	3.742	3.823	3.845	20.581	2	1	12.56	48.2932
10	12	14	16	13	4.571	4.574	4.572	4.572	4.57225	20.581	2	1	12.56	57.42746
12	14	16	18	15	4.124	4.125	4.124	4.124	4.12425	20.581	2	1	12.56	51.80058
14	16	18	20	17	4.04	3.756	3.755	3.826	3.84425	20.581	2	1	12.56	48.28378
16	18	20	22	19	3.838	3.676	3.675	3.766	3.73875	20.581	2	1	12.56	46.9587
18	20	22	24	21	3.769	3.769	3.77	3.769	3.76925	20.581	2	1	12.56	47.34178
20	22	24	26	23	3.728	3.046	3.046	3.103	3.23075	20.581	2	1	12.56	40.57822
0	4	8	12	6	2.712	2.516	2.518	2.565	2.57775	20.581	4	2	25.12	64.75308
2	6	10	14	8	3.042	2.839	2.844	2.951	2.919	20.581	4	2	25.12	73.32528
4	8	12	16	10	2.93	2.734	2.735	2.783	2.7955	20.581	4	2	25.12	70.22296
6	10	14	18	12	2.326	2.188	2.19	2.223	2.23175	20.581	4	2	25.12	56.06156
8	12	16	20	14	2.578	2.4	2.405	2.437	2.455	20.581	4	2	25.12	61.6696
10	14	18	22	16	2.266	2.106	2.106	2.145	2.15575	20.581	4	2	25.12	54.15244
12	16	20	24	18	2.206	2.207	2.208	2.165	2.1965	20.581	4	2	25.12	55.17608
14	18	22	26	20	2.493	2.496	2.497	2.449	2.48375	20.581	4	2	25.12	62.3918
0	6	12	18	9	2.153	2.153	2.153	2.153	2.153	20.581	6	3	37.68	81.12504
2	8	14	20	11	2.157	2.158	2.157	2.158	2.1575	20.581	6	3	37.68	81.2946
4	10	16	22	13	2.022	2.022	2.023	2.022	2.02225	20.581	6	3	37.68	76.19838
6	12	18	24	15	1.879	1.878	1.878	1.877	1.878	20.581	6	3	37.68	70.76304
8	14	20	26	17	1.967	1.816	1.816	1.853	1.863	20.581	6	3	37.68	70.19784
0	8	16	24	12	1.153	1.076	1.076	1.095	1.1	20.581	8	4	50.24	55.264
2	10	18	26	14	0.989	0.932	0.936	0.951	0.952	20.581	8	4	50.24	47.82848

b. Line 2

C1	P1	P2	C2	Datum	R				Rerata	I	a	n	k	Rho
					1	2	3	4						
0	2	4	6	3	4.138	3.804	3.804	3.886	3.908	20.581	2	1	12.56	49.08448
2	4	6	8	5	3.368	3.129	3.188	3.188	3.21825	20.581	2	1	12.56	40.42122
4	6	8	10	7	3.497	3.496	3.497	3.496	3.4965	20.581	2	1	12.56	43.91604
6	8	10	12	9	3.526	3.276	3.275	3.337	3.3535	20.581	2	1	12.56	42.11996
8	10	12	14	11	3.351	3.108	3.108	3.108	3.16875	20.581	2	1	12.56	39.7995
10	12	14	16	13	3.556	3.556	3.556	3.555	3.55575	20.581	2	1	12.56	44.66022
12	14	16	18	15	3.426	3.423	3.4226	3.424	3.4239	20.581	2	1	12.56	43.004184
14	16	18	20	17	4.051	3.773	3.772	3.841	3.85925	20.581	2	1	12.56	48.47218
16	18	20	22	19	3.726	3.727	3.726	3.726	3.72625	20.581	2	1	12.56	46.8017
18	20	22	24	21	4.301	4.302	4.301	4.301	4.30125	20.581	2	1	12.56	54.0237
20	22	24	26	23	3.5	3.5	3.499	3.499	3.4995	20.581	2	1	12.56	43.95372
0	4	8	12	6	2.17	2.006	2.006	2.047	2.05725	20.581	4	2	25.12	51.67812
2	6	10	14	8	2.276	2.111	2.11	2.151	2.162	20.581	4	2	25.12	54.30944
4	8	12	16	10	2.255	2.082	2.082	2.125	2.136	20.581	4	2	25.12	53.65632
6	10	14	18	12	2.152	2.023	2.021	2.055	2.06275	20.581	4	2	25.12	51.81628
8	12	16	20	14	2.199	2.041	2.043	2.081	2.091	20.581	4	2	25.12	52.52592
10	14	18	22	16	2.235	2.195	2.195	2.234	2.21475	20.581	4	2	25.12	55.63452
12	16	20	24	18	2.517	2.356	2.355	2.395	2.40575	20.581	4	2	25.12	60.43244
14	18	22	26	20	2.392	2.234	2.236	2.274	2.284	20.581	4	2	25.12	57.37408
0	6	12	18	9	1.51	1.406	1.408	1.433	1.43925	20.581	6	3	37.68	54.23094
2	8	14	20	11	1.536	1.459	1.455	1.463	1.47825	20.581	6	3	37.68	55.70046
4	10	16	22	13	1.464	1.373	1.374	1.396	1.40175	20.581	6	3	37.68	52.81794
6	12	18	24	15	1.596	1.514	1.512	1.533	1.53875	20.581	6	3	37.68	57.9801
8	14	20	26	17	1.585	1.49	1.49	1.513	1.5195	20.581	6	3	37.68	57.25476
0	8	16	24	12	1.192	1.094	1.095	1.119	1.125	20.581	8	4	50.24	56.52
2	10	18	26	14	1.189	1.163	1.163	1.168	1.17075	20.581	8	4	50.24	58.81848

c. Line 3

C1	P1	P2	C2	Datum	R				Rerata	I	a	n	k	Rho
					1	2	3	4						
0	2	4	6	3	2.307	2.307	2.307	2.306	2.30675	20.581	2	1	12.56	28.97278
2	4	6	8	5	2.799	2.799	2.799	2.799	2.799	20.581	2	1	12.56	35.15544
4	6	8	10	7	2.839	2.839	2.839	2.839	2.839	20.581	2	1	12.56	35.65784
6	8	10	12	9	2.941	2.941	2.941	2.94	2.94075	20.581	2	1	12.56	36.93582
8	10	12	14	11	3.007	3.007	3.007	3.007	3.007	20.581	2	1	12.56	37.76792
10	12	14	16	13	3.045	2.809	2.809	2.867	2.8825	20.581	2	1	12.56	36.2042
12	14	16	18	15	2.865	2.664	2.664	2.713	2.7265	20.581	2	1	12.56	34.24484
14	16	18	20	17	3.179	2.937	2.937	2.996	3.01225	20.581	2	1	12.56	37.83386
16	18	20	22	19	2.42	2.241	2.243	2.286	2.2975	20.581	2	1	12.56	28.8566
18	20	22	24	21	3.07	2.832	2.832	2.891	2.90625	20.581	2	1	12.56	36.5025
20	22	24	26	23	2.839	2.64	2.64	2.689	2.702	20.581	2	1	12.56	33.93712
0	4	8	12	6	1.357	1.259	1.26	1.283	1.28975	20.581	4	2	25.12	32.39852
2	6	10	14	8	1.964	1.964	1.964	1.963	1.96375	20.581	4	2	25.12	49.3294
4	8	12	16	10	1.964	1.965	1.966	1.965	1.965	20.581	4	2	25.12	49.3608
6	10	14	18	12	2.124	1.965	1.955	1.997	2.01025	20.581	4	2	25.12	50.49748
8	12	16	20	14	1.912	1.911	1.912	1.192	1.73175	20.581	4	2	25.12	43.50156
10	14	18	22	16	2.066	1.919	1.926	1.919	1.9575	20.581	4	2	25.12	49.1724
12	16	20	24	18	2.354	2.182	2.181	2.224	2.23525	20.581	4	2	25.12	56.14948
14	18	22	26	20	1.513	1.418	1.419	1.422	1.443	20.581	4	2	25.12	36.24816
0	6	12	18	9	1.357	1.259	1.26	1.283	1.28975	20.581	6	3	37.68	48.59778
2	8	14	20	11	1.559	1.44	1.44	1.469	1.477	20.581	6	3	37.68	55.65336
4	10	16	22	13	1.618	1.505	1.505	1.532	1.54	20.581	6	3	37.68	58.0272
6	12	18	24	15	1.603	1.441	1.441	1.468	1.48825	20.581	6	3	37.68	56.07726
8	14	20	26	17	1.551	1.441	1.441	1.468	1.47525	20.581	6	3	37.68	55.58742
0	8	16	24	12	0.874	0.811	0.811	0.827	0.83075	20.581	8	4	50.24	41.73688
2	10	18	26	14	1.041	0.965	0.964	0.983	0.98825	20.581	8	4	50.24	49.64968

d. Line 4

Cl	Pl	P2	C2	Datum	R				Rerata	I	a	n	k	Rho
					1	2	3	4						
0	2	4	6	3	3.446	3.179	3.178	3.244	3.26175	20.581	2	1	12.56	40.96758
2	4	6	8	5	4.12	4.124	4.125	4.123	4.123	20.581	2	1	12.56	51.78488
4	6	8	10	7	3.884	3.614	3.609	3.679	3.6965	20.581	2	1	12.56	46.42804
6	8	10	12	9	4.591	4.264	4.264	4.346	4.36625	20.581	2	1	12.56	54.8401
8	10	12	14	11	4.431	4.09	4.09	4.175	4.1965	20.581	2	1	12.56	52.70804
10	12	14	16	13	5.142	4.744	4.74	4.84	4.8665	20.581	2	1	12.56	61.12324
12	14	16	18	15	3.624	3.377	3.377	3.438	3.454	20.581	2	1	12.56	43.38224
14	16	18	20	17	3.826	3.553	3.553	3.62	3.638	20.581	2	1	12.56	45.69328
16	18	20	22	19	2.287	2.113	2.113	2.156	2.16725	20.581	2	1	12.56	27.22066
18	20	22	24	21	2.431	2.269	2.269	2.369	2.3345	20.581	2	1	12.56	29.32132
20	22	24	26	23	2.263	2.099	2.099	2.139	2.15	20.581	2	1	12.56	27.004
0	4	8	12	6	2.127	2.146	2.146	2.142	2.14025	20.581	4	2	25.12	53.76308
2	6	10	14	8	2.128	2.129	2.128	2.128	2.12825	20.581	4	2	25.12	53.46164
4	8	12	16	10	1.853	1.749	1.756	1.779	1.78425	20.581	4	2	25.12	44.82036
6	10	14	18	12	2.086	1.961	1.961	1.992	2	20.581	4	2	25.12	50.24
8	12	16	20	14	1.713	1.593	1.595	1.624	1.63125	20.581	4	2	25.12	40.977
10	14	18	22	16	1.42	1.316	1.323	1.346	1.35125	20.581	4	2	25.12	33.9434
12	16	20	24	18	1.288	1.183	1.304	1.269	1.261	20.581	4	2	25.12	31.67632
14	18	22	26	20	1.576	1.468	1.472	1.497	1.50325	20.581	4	2	25.12	37.76164
0	6	12	18	9	1.333	1.259	1.259	1.277	1.282	20.581	6	2	37.68	48.30576
2	8	14	20	11	1.176	1.09	1.09	1.111	1.11675	20.581	6	3	37.68	42.07914
4	10	16	22	13	0.971	0.932	0.932	0.941	0.944	20.581	6	3	37.68	35.56992
6	12	18	24	15	0.823	0.791	0.792	0.799	0.80125	20.581	6	3	37.68	30.1911
8	14	20	26	17	0.792	0.737	0.739	0.752	0.755	20.581	6	3	37.68	28.4484
0	8	16	24	12	0.639	0.589	0.588	0.6	0.604	20.581	8	4	50.24	30.34496
2	10	18	26	14	0.544	0.521	0.522	0.527	0.5285	20.581	8	4	50.24	26.55184

e. Line 5

C1	P1	P2	C2	Datum	R				Rerata	I	a	n	k	Rho
					1	2	3	4						
0	2	4	6	3	1.408	1.309	1.31	1.333	1.34	20.581	2	1	12.56	16.8304
2	4	6	8	5	1.5	1.9	1.41	1.41	1.555	20.581	2	1	12.56	19.5308
4	6	8	10	7	2.081	2.082	2.082	2.08	2.08125	20.581	2	1	12.56	26.1405
6	8	10	12	9	2.424	2.257	2.256	2.298	2.30875	20.581	2	1	12.56	28.9979
8	10	12	14	11	3.008	2.828	2.829	2.881	2.8865	20.581	2	1	12.56	36.25444
10	12	14	16	13	3.233	3.008	3.006	3.062	3.07725	20.581	2	1	12.56	38.65026
12	14	16	18	15	3.768	3.511	3.511	3.574	3.591	20.581	2	1	12.56	45.10296
14	16	18	20	17	3.419	3.418	3.418	3.418	3.41825	20.581	2	1	12.56	42.93322
16	18	20	22	19	3.188	2.694	2.948	3.007	2.95925	20.581	2	1	12.56	37.16818
18	20	22	24	21	3.426	3.232	3.23	3.279	3.29175	20.581	2	1	12.56	41.34438
20	22	24	26	23	3.115	2.873	2.873	2.933	2.9485	20.581	2	1	12.56	37.03316
0	4	8	12	6	0.858	0.795	0.797	0.811	0.81525	20.581	4	2	25.12	20.47908
2	6	10	14	8	0.591	0.886	0.886	0.904	0.81675	20.581	4	2	25.12	20.51676
4	8	12	16	10	0.886	0.824	0.824	0.838	0.843	20.581	4	2	25.12	21.17616
6	10	14	18	12	1.027	0.947	0.943	0.964	0.97025	20.581	4	2	25.12	24.37268
8	12	16	20	14	1.214	1.158	1.107	1.146	1.15625	20.581	4	2	25.12	29.045
10	14	18	22	16	1.318	1.222	1.222	1.224	1.2465	20.581	4	2	25.12	31.31208
12	16	20	24	18	1.087	0.997	0.997	1.02	1.02525	20.581	4	2	25.12	25.75428
14	18	22	26	20	1.151	1.059	1.059	1.082	1.08775	20.581	4	2	25.12	27.32428
0	6	12	18	9	0.474	0.438	0.44	0.448	0.45	20.581	6	3	37.68	16.956
2	8	14	20	11	0.502	0.474	0.471	0.479	0.4815	20.581	6	3	37.68	18.14292
4	10	16	22	13	0.566	0.527	0.528	0.375	0.499	20.581	6	3	37.68	18.80232
6	12	18	24	15	0.624	0.562	0.562	0.577	0.58125	20.581	6	3	37.68	21.9015
8	14	20	26	17	0.648	0.609	0.608	0.613	0.6195	20.581	6	3	37.68	23.34276
0	8	16	24	12	0.413	0.386	0.387	0.393	0.39475	20.581	8	4	50.24	19.83224
2	10	18	26	14	0.422	0.386	0.386	0.395	0.39725	20.581	8	4	50.24	19.95784

f. Line 6

Cl	Pl	P2	C2	Datum	R				Rerata	I	a	n	k	Rho
					1	2	3	4						
0	2	4	6	3	5.286	4.948	4.948	5.056	5.0595	20.581	2	1	12.56	63.54732
2	4	6	8	5	4.626	4.294	4.295	4.295	4.3775	20.581	2	1	12.56	54.9814
4	6	8	10	7	9.143	9.193	9.142	9	9.1195	20.581	2	1	12.56	114.54092
6	8	10	12	9	5.194	5.49	5.348	5.459	5.37275	20.581	2	1	12.56	67.48174
8	10	12	14	11	9.568	8.824	8.823	9	9.05375	20.581	2	1	12.56	113.7151
10	12	14	16	13	6.551	6.012	6.101	6.213	6.21925	20.581	2	1	12.56	78.11378
12	14	16	18	15	10	10.424	10.425	10.424	10.31825	20.581	2	1	12.56	129.59722
14	16	18	20	17	7.853	7.395	7.294	7.433	7.49375	20.581	2	1	12.56	94.1215
16	18	20	22	19	10	9.231	9.228	9.421	9.47	20.581	2	1	12.56	118.9432
18	20	22	24	21	9.327	9.326	9.326	9.326	9.32625	20.581	2	1	12.56	117.1377
20	22	24	26	23	8.931	8.421	8.239	8.414	8.50125	20.581	2	1	12.56	106.7757
0	4	8	12	6	1.922	1.781	1.788	1.82	1.82775	20.581	4	3	25.12	45.91308
2	6	10	14	8	3.253	3.025	3.025	3.081	3.096	20.581	4	3	25.12	77.77152
4	8	12	16	10	3.483	3.332	3.476	3.441	3.433	20.581	4	3	25.12	86.23696
6	10	14	18	12	3.432	3.451	3.171	3.296	3.3375	20.581	4	3	25.12	83.838
8	12	16	20	14	4.012	3.742	3.742	3.809	3.82625	20.581	4	3	25.12	96.1154
10	14	18	22	16	4.704	4.357	4.699	4.613	4.59325	20.581	4	3	25.12	115.38244
12	16	20	24	18	4.012	3.742	3.743	3.809	3.8265	20.581	4	3	25.12	96.12168
14	18	22	26	20	3.432	3.451	3.171	3.296	3.3375	20.581	4	3	25.12	83.838
0	6	12	18	9	2.007	1.396	1.396	1.972	1.69275	20.581	6	5	37.68	63.78282
2	8	14	20	11	1.964	1.824	1.824	1.854	1.8665	20.581	6	5	37.68	70.32972
4	10	16	22	13	1.914	1.79	1.787	1.818	1.82725	20.581	6	5	37.68	68.85078
6	12	18	24	15	1.821	1.818	1.818	1.818	1.81875	20.581	6	5	37.68	68.5305
8	14	20	26	17	2.128	1.893	1.979	2.061	2.01525	20.581	6	5	37.68	75.93462
0	8	16	24	12	1.523	1.399	1.4	1.43	1.438	20.581	8	6	50.24	72.24512
2	10	18	26	14	1.386	1.263	1.269	1.269	1.29675	20.581	8	6	50.24	65.14872

g. Line 7

C1	P1	P2	C2	Datum	R				Rerata	I	a	n	k	Rho
					1	2	3	4						
0	2	4	6	3	1.859	1.728	1.728	1.76	1.76875	20.581	2	1	12.56	22.2155
2	4	6	8	5	1.649	1.536	1.536	1.564	1.57125	20.581	2	1	12.56	19.7349
4	6	8	10	7	2.396	2.216	2.216	2.26	2.272	20.581	2	1	12.56	28.53632
6	8	10	12	9	1.804	1.666	1.666	1.7	1.709	20.581	2	1	12.56	21.46504
8	10	12	14	11	2.075	1.929	1.929	1.965	1.9745	20.581	2	1	12.56	24.79972
10	12	14	16	13	1.561	1.502	1.51	1.521	1.5235	20.581	2	1	12.56	19.13516
12	14	16	18	15	2.016	1.874	1.874	1.909	1.91825	20.581	2	1	12.56	24.09322
14	16	18	20	17	1.877	1.744	1.744	1.776	1.78525	20.581	2	1	12.56	22.42274
16	18	20	22	19	8.147	8.157	8.156	8.328	8.197	20.581	2	1	12.56	102.95432
18	20	22	24	21	3.858	3.864	3.563	3.636	3.73025	20.581	2	1	12.56	46.85194
20	22	24	26	23	1.916	1.915	1.915	1.915	1.91525	20.581	2	1	12.56	24.05554
0	4	8	12	6	1.212	1.121	1.121	1.143	1.14925	20.581	4	2	25.12	28.86916
2	6	10	14	8	1.348	1.242	1.244	1.269	1.27575	20.581	4	2	25.12	32.04684
4	8	12	16	10	1.39	1.293	1.293	1.317	1.32325	20.581	4	2	25.12	33.24004
6	10	14	18	12	1.217	1.14	1.145	1.162	1.166	20.581	4	2	25.12	29.28992
8	12	16	20	14	1.225	1.134	1.134	1.156	1.16225	20.581	4	2	25.12	29.19572
10	14	18	22	16	1.46	1.342	1.344	1.372	1.3795	20.581	4	2	25.12	34.65304
12	16	20	24	18	3.99	3.69	3.689	3.764	3.78325	20.581	4	2	25.12	95.03524
14	18	22	26	20	1.984	1.849	1.85	1.883	1.8915	20.581	4	2	25.12	47.51448
0	6	12	18	9	0.88	0.81	0.811	0.828	0.83225	20.581	6	3	37.68	31.35918
2	8	14	20	11	1.191	1.1	1.105	1.126	1.1305	20.581	6	3	37.68	42.59724
4	10	16	22	13	0.991	0.935	0.943	0.953	0.9555	20.581	6	3	37.68	36.00324
6	12	18	24	15	0.883	0.892	0.893	0.89	0.8895	20.581	6	3	37.68	33.51636
8	14	20	26	17	0.918	0.849	0.849	0.866	0.8705	20.581	6	3	37.68	32.80044
0	8	16	24	12	0.611	0.566	0.563	0.575	0.57875	20.581	8	4	50.24	29.0764
2	10	18	26	14	0.559	0.524	0.527	0.535	0.53625	20.581	8	4	50.24	26.9412

Lampiran 2

Langkah Kerja Software Res2DinV

Sebelum dilakukan pengolahan data geolistrik hasil pengukuran di lapangan terlebih dahulu dengan menggunakan Ms. Excel. *Copy DP (datum point)*, a (spasi terkecil), dan Rho dari data *line-1* ke Ms.Excel tersebut seperti gambar dibawah ini:

	C1	P1	P2	C2	Datum	R				Rerata	l	a	n	k	Rho
						1	2	3	4						
0	2	4	6	8	3	2.307	2.307	2.307	2.306	2.30675	20.581	2	1	12.56	28.97278
2	4	6	8	10	5	2.799	2.799	2.799	2.799	2.799	20.581	2	1	12.56	35.15544
4	6	8	10	12	7	2.839	2.839	2.839	2.839	2.839	20.581	2	1	12.56	35.65784
6	8	10	12	14	9	2.941	2.941	2.941	2.94	2.94075	20.581	2	1	12.56	36.93582
8	10	12	14	16	11	3.007	3.007	3.007	3.007	3.007	20.581	2	1	12.56	37.76792
10	12	14	16	18	13	3.045	2.809	2.809	2.867	2.8825	20.581	2	1	12.56	36.2042
12	14	16	18	20	15	2.865	2.664	2.664	2.713	2.7265	20.581	2	1	12.56	34.24484
14	16	18	20	22	17	3.179	2.937	2.937	2.996	3.01225	20.581	2	1	12.56	37.83386
16	18	20	22	24	19	2.42	2.241	2.243	2.286	2.2975	20.581	2	1	12.56	28.8566
18	20	22	24	26	21	3.07	2.832	2.832	2.891	2.90625	20.581	2	1	12.56	36.5025
20	22	24	26	28	23	2.839	2.64	2.64	2.689	2.702	20.581	2	1	12.56	33.93712
0	4	8	12	16	6	1.357	1.259	1.26	1.283	1.28975	20.581	4	2	25.12	32.39852
2	6	10	14	18	8	1.964	1.964	1.964	1.963	1.96375	20.581	4	2	25.12	49.3294
4	8	12	16	20	10	1.964	1.965	1.966	1.965	1.965	20.581	4	2	25.12	49.3608
6	10	14	18	22	12	2.124	1.965	1.955	1.997	2.01025	20.581	4	2	25.12	50.49748
8	12	16	20	24	14	1.912	1.911	1.912	1.912	1.91175	20.581	4	2	25.12	43.50156
10	14	18	22	26	16	2.066	1.919	1.926	1.919	1.9575	20.581	4	2	25.12	49.1724
12	16	20	24	28	18	2.354	2.182	2.181	2.224	2.23525	20.581	4	2	25.12	56.14948
14	18	22	26	30	20	1.513	1.418	1.419	1.422	1.443	20.581	4	2	25.12	36.24816
0	6	12	18	24	9	1.357	1.259	1.26	1.283	1.28975	20.581	6	3	37.68	48.59778

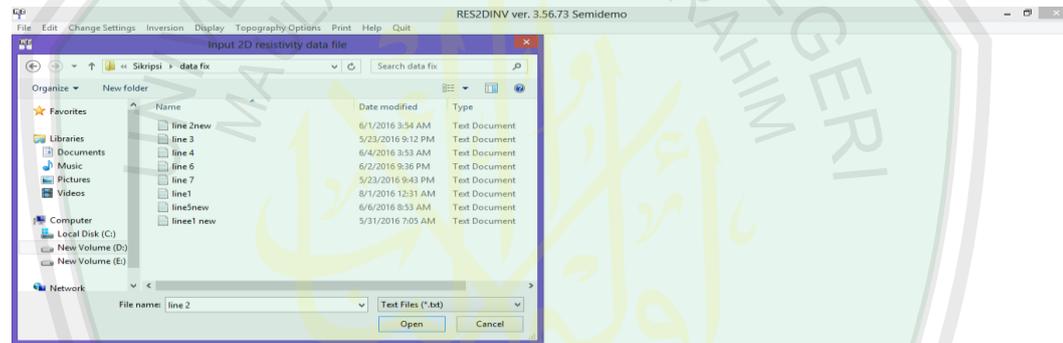
Kemudian copy nilai-nilai di atas ke dalam sebuah text editor (notepad) dengan format seperti pada gambar berikut (konfigurasi yang digunakan adalah konfigurasi Wenner).

```
Penelitian Geolistrik Situs biting
1
26
1
0
3 2 49.1724
5 2 44.9491
7 2 46.47514
9 2 59.27378
11 2 48.2932
13 2 57.42746
15 2 51.80058
17 2 48.28378
19 2 46.9587
21 2 47.34178
23 2 40.57822
6 4 64.75388
8 4 73.32528
10 4 78.22296
12 4 56.06156
14 4 61.6696
16 4 54.15244
18 4 55.17608
20 4 62.3918
9 6 88.98132
11 6 81.12504
13 6 81.2946
15 6 76.19838
17 6 78.76384
12 8 93.59712
14 8 94.46376
0
0
0
```

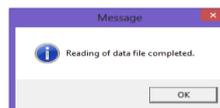
Keterangan:
Baris Pertama: Nama Survey
Baris Kedua: Spasi Terkecil
Baris ketiga: Jenis konfigurasi (wenner 1)
Baris Keempat: Jumlah data
Baris Kelima: Ketik 1
Baris Keenam: ketik 0
Baris ketujuh dst: data hasil pengukuran
kemudian diakhiri dengan 0 empat kali



Kemudian akan muncul jendela “*input 2D resistivity data file*”, pada kolom “*file name*” masukkan file yang akan dieksekusi (*latihan.dat*). dalam jendela ini file yang ditampilkan hanya file yang berekstensi (*.dat). Setelah itu klik “Open”.



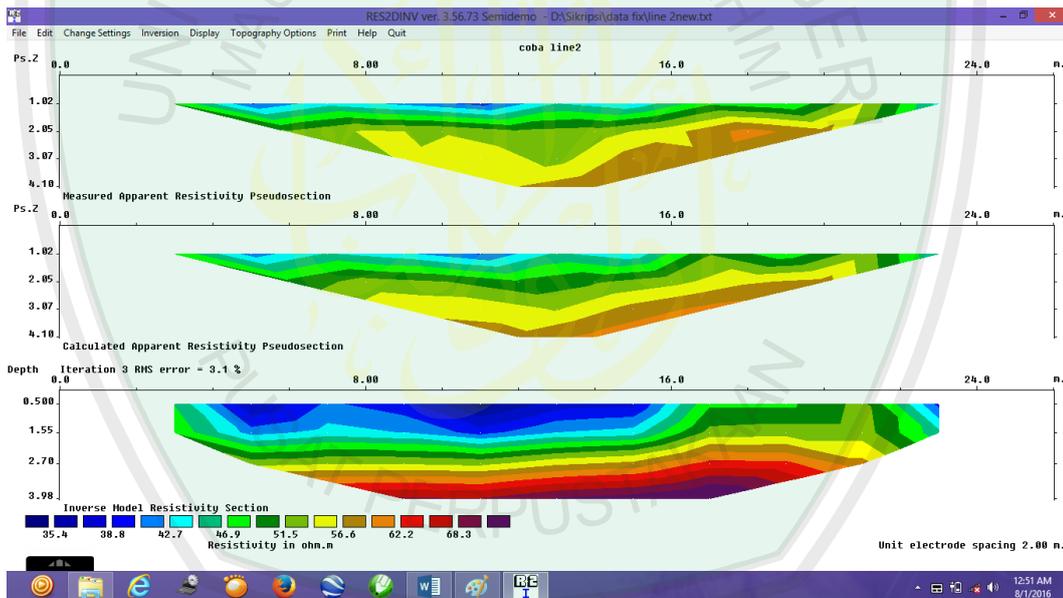
Pada menu inversion pilih “*use logarithm of apparent resistivity*” sehingga muncul kotak dialog “*use logarithm of apparent resistivity*”, pilih “*use apparent resistivity*”, kemudian “OK”



Langkah selanjutnya adalah melakukan inversi, dengan langkah-langkah sebagai berikut: Inversion → least squares inversion, kemudian muncul tampilan berikut:



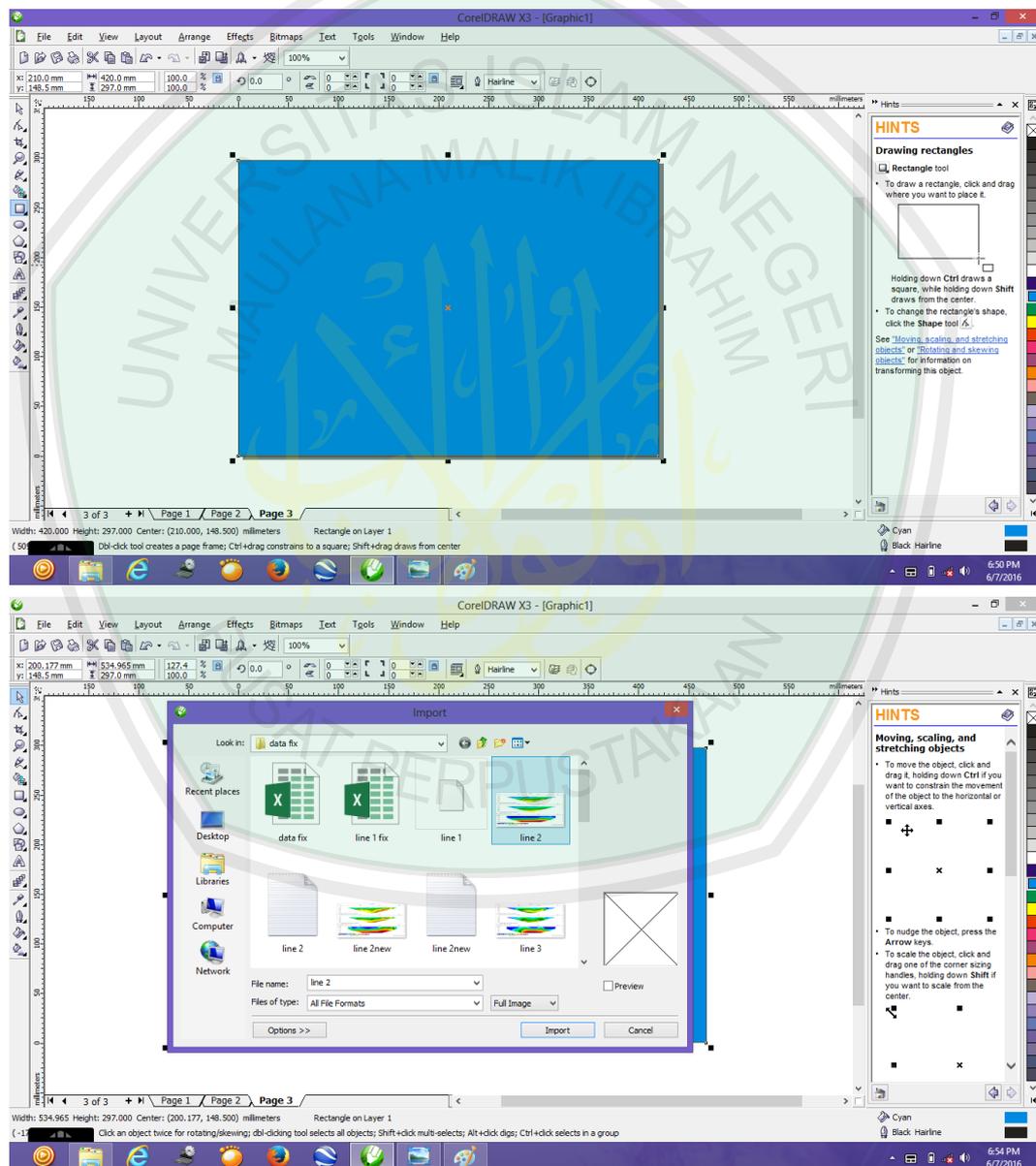
Pada jendela yang baru ini, pada kolom "file name" input data yang telah di read data file tadi (latihan.inv), kemudian "save", sehingga muncul tampilan sebagai berikut:

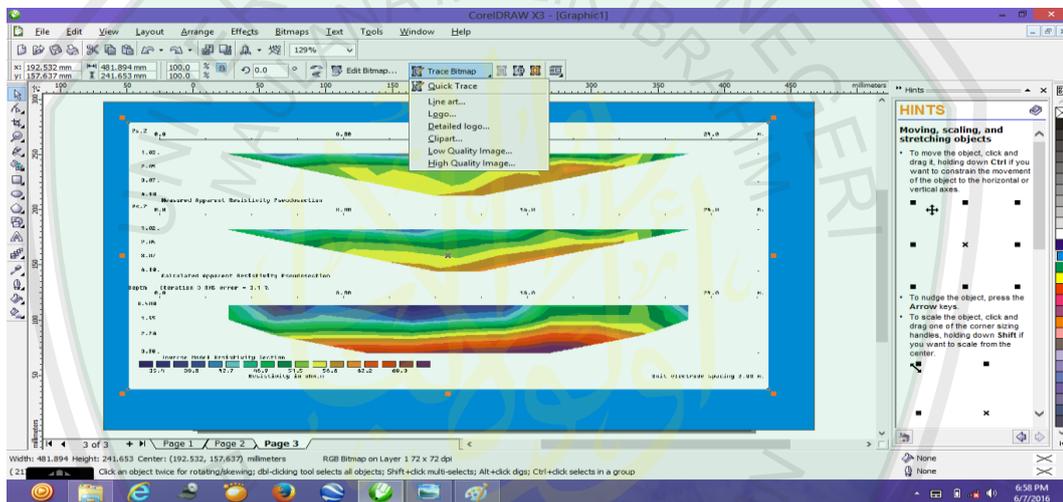
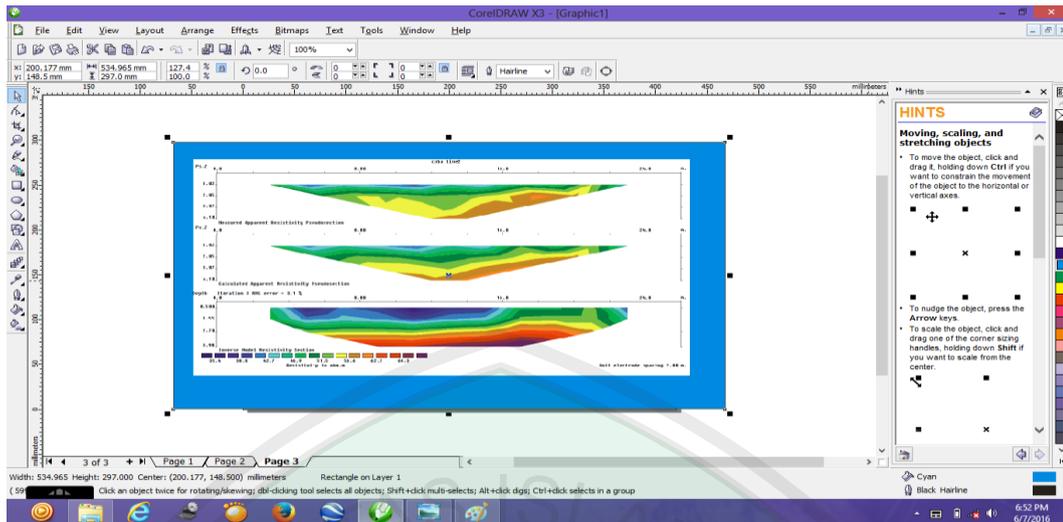


Lampiran 3

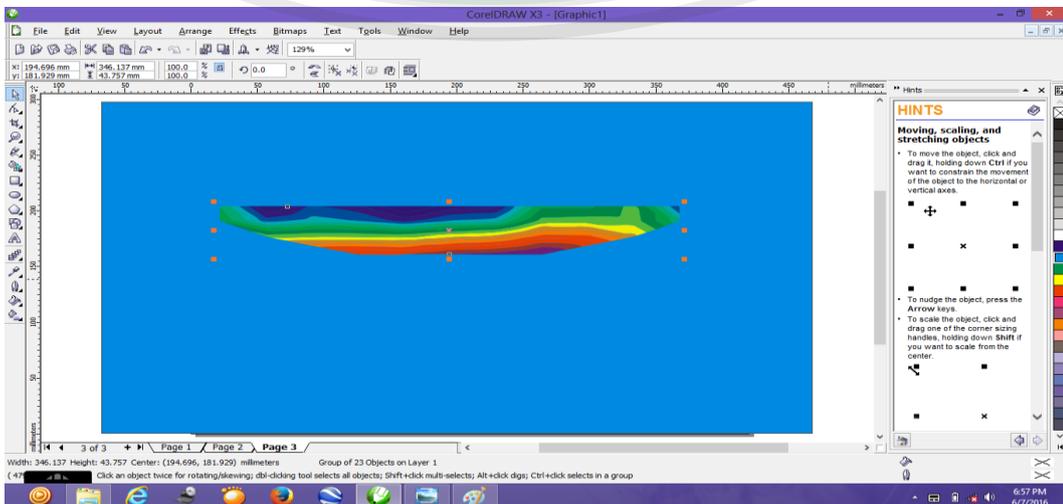
Langkah Kerja Software Corel Draw

Setelah mendapatkan hasil dari pengolahan software *Res2dinv*, langkah selanjutnya menggunakan software *Corel Draw* (untuk aplikasi ini peneliti menggunakan *Corel Draw X4*). Pertama, buka aplikasi *Corel Draw*, kemudian klik dua kali *Rectangle tool* untuk membuat dasar pada latar belakang obyek yang akan di buat. Sebagaimana gambar dibawah:



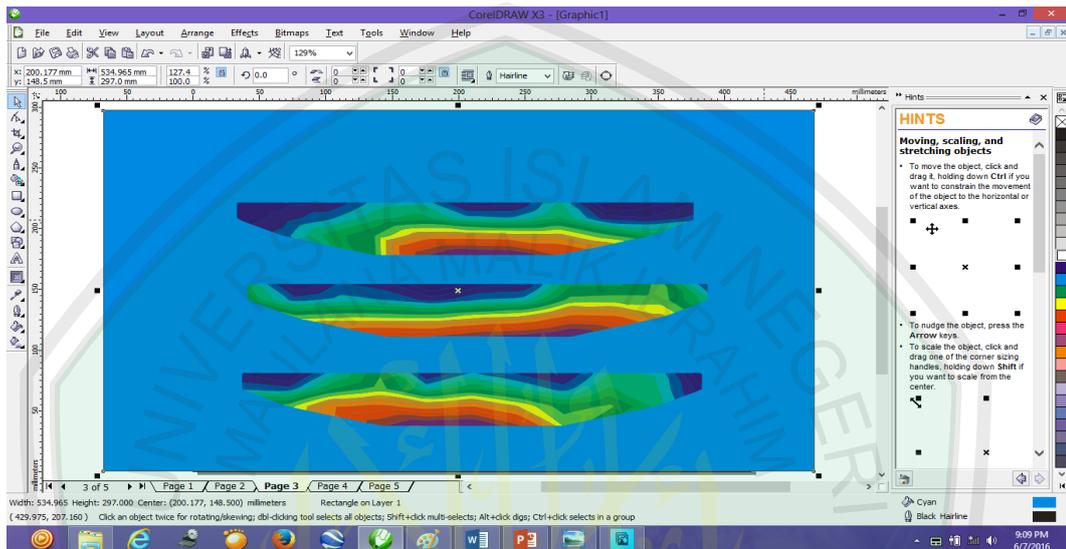


Setelah semuanya dilakukan maka langkah selanjutnya mengambil gambar yang paling bawah (gambar disesuaikan dengan kajian obyek yang telah disiapkan) dengan menggunakan *Cursor*, sehingga semuanya menjadi bagian yang tak menyatu/terpecah. Sebagaimana gambar dibawah:

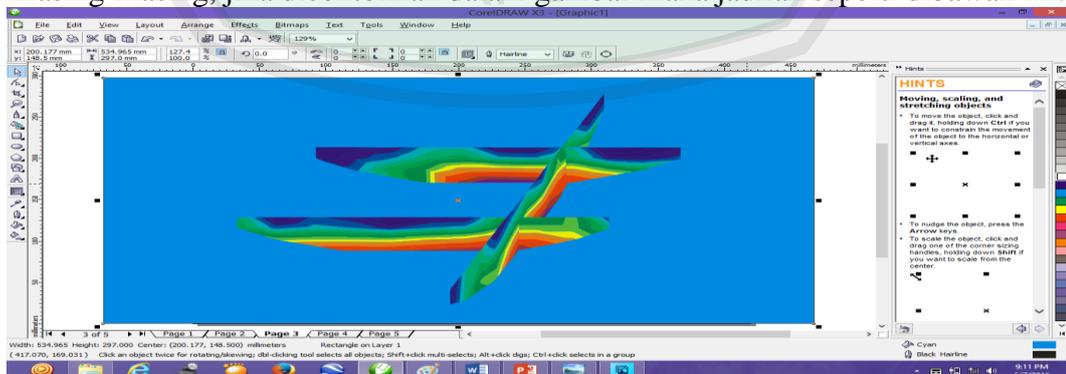


Baiklah lakukan semua langkah diatas sesuai dengan obyek yang akan dikaji karena hal diatas ialah dasar dari pembuatan MODEL PANEL VERTIKAL.

Beranjak pada langkah selanjutnya, yakni tetap menggunakan *Corel Draw*, untuk penggabungan satu bagian kebagian lainnya yakni dengan mengumpulkan obyek terlebih dahulu dalam satu *Tab* (hal ini memudahkan untuk menggabungkan satu bagian yang telah di pecah tadi) sebagaimana contoh gambar dibawah:

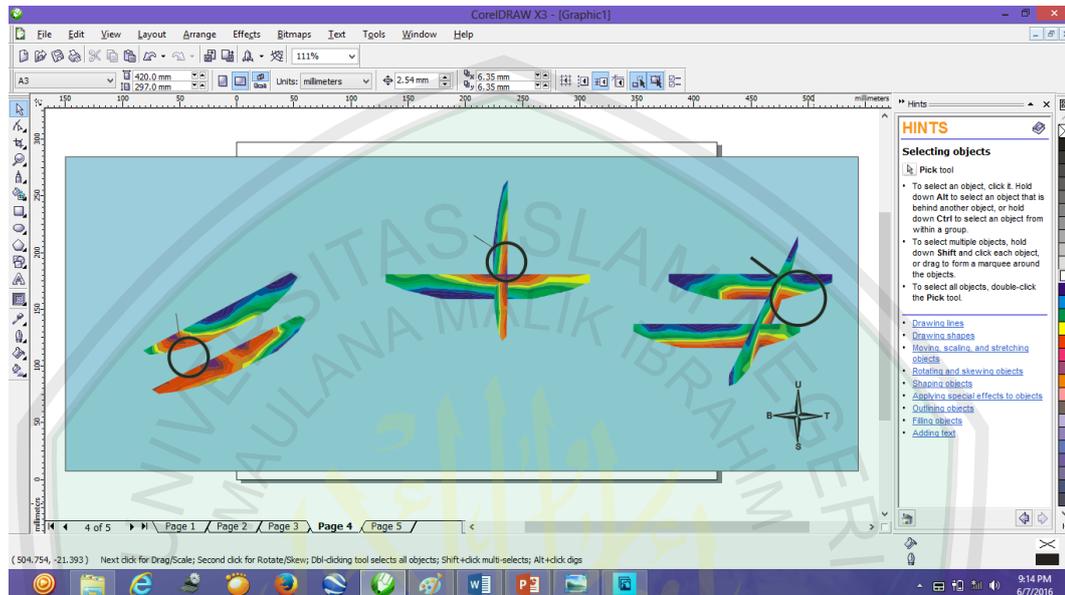


Setelah obyek yang terpecah berada dalam satu *Tab* maka untuk tahap selanjutnya penggabungan gambar, yakni hanya dngan menggunakan *Cursor*. Arahkan *Cursor* ke obyek lalu klik satu kali untuk memunculkan tanda arah, jika sudah maka untuk memunculkan tanda yang ujungnya untuk dapat memutarakan obyek maka klik dua kali. Setelah itu putar kekanan dan kekiri untuk dapat menggabungkan obyek yang terpecah belah itu. Hal ini disesuaikan dengan kajian masing-masing, jika dicontohkan dalam gambar maka jadilah seperti dibawah ini:

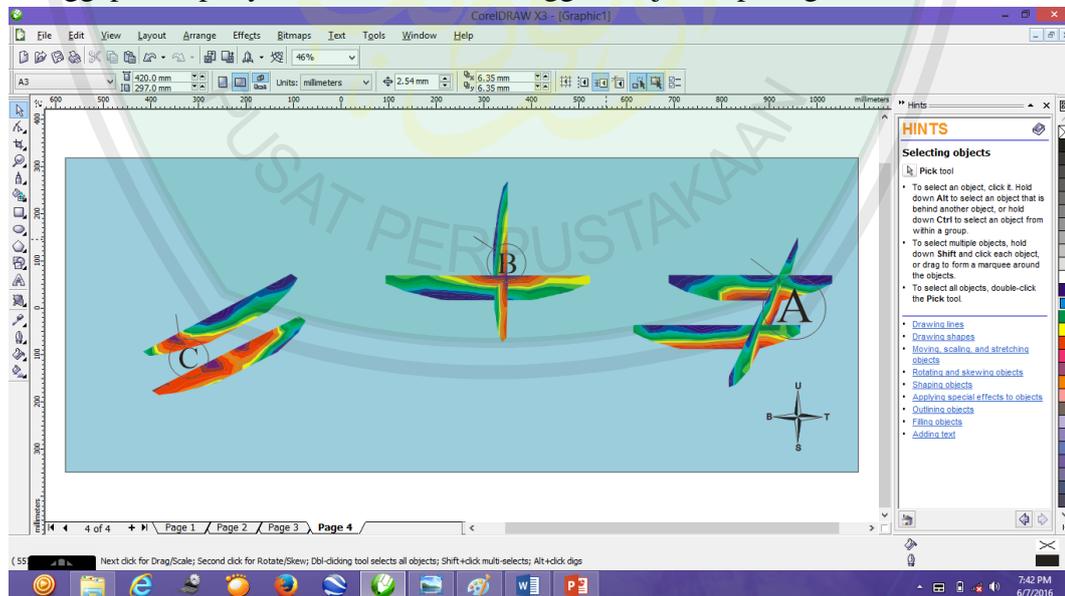


Kemudian untuk langkah selanjutnya, menandai bagian-bagian daerah yang dianggap mempunyai sebuah letak khusus. Sebagai alatnya yakni tetap dengan

menggunakan *Cursor* lalu arahkan *Cursor* ke *Ellipse Tool* (jika tandanya ingin menggunakan tanda bulat) atau arahkan *Cursor* ke *Polygon Tool* (jika tandanya ingin menggunakan tanda segi enam/dsb). Klik dan tekan untuk membuat tanda tersebut lalu tampilkan pada bagian yang ingin di tandai, seperti contoh gambar dibawah:

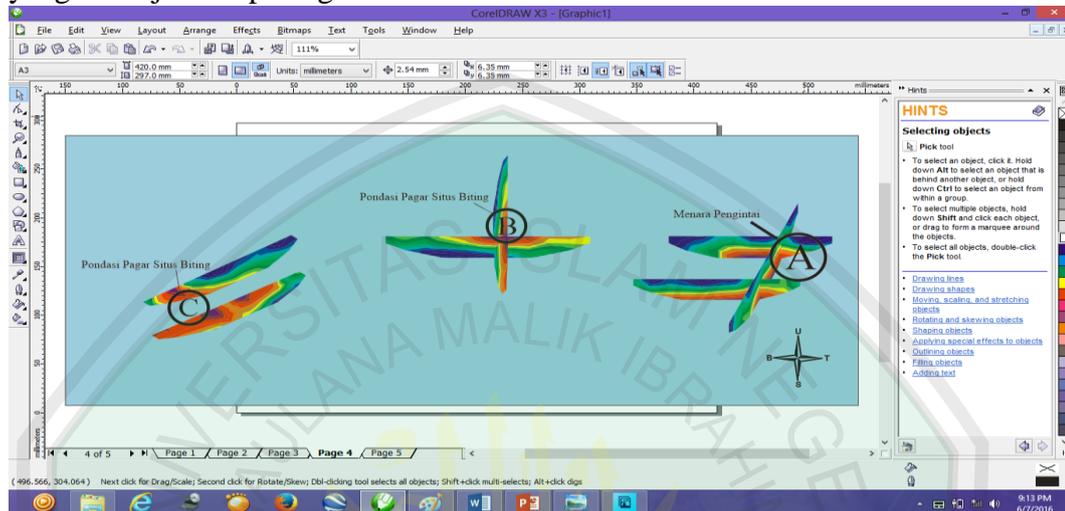


Lakukan seperti hal diatas sampai selesai sesuai dengan bagian daerah yang dianggap mempunyai letak khusus. Sehingga menjadi seperti gambar dibawah:



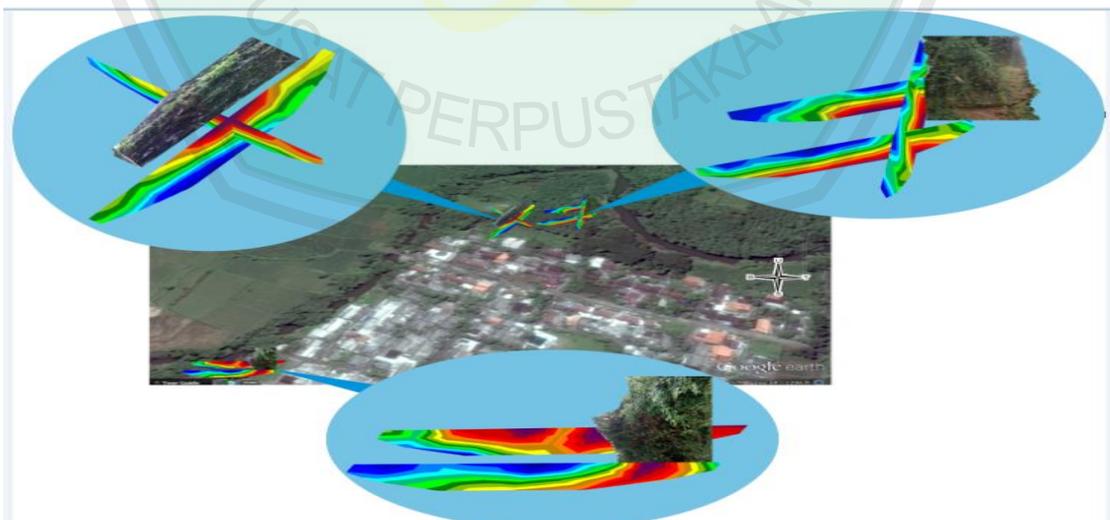
Gambar diatas adalah hasil dari Model Panel Vertikal yang mana semuanya berawal dari langkah-langkah diatas. Namun, satu hal lagi terkait untuk memberikan nama seperti gambar diatas yakni dengan mengarahkan *Cursor* ke

Text Tool kemudian klik satu kali setelah itu klik di bagian yang ingin dinamai, lalu ketik nama sesuai dengan istilah yang digunakan dalam obyek kajian masing-masing dan jika membuat arah kompas maka kembali arahkan *Cursor* ke bagian *Polygon Tool* dan kurangi bagian ujung agar menjadi 4 bagian/arah. Sebagaimana yang di tunjukkan pada gambar dibawah ini:



Demikian langkah kerja dalam pembuatan Model Panel Vertikal menggunakan software *Corel Draw*.

Setelah didapatkan Model Panel vertikal, kemudian untuk membuat 3 dimensi dengan menggunakan software *Corel Draw*, dengan cara mengambil gambar daerah penelitian dengan menggunakan *Cursor*, lalu menempatkan hasil Model Panel Vertikal diatas ke gambar daerah penelitian seperti gambar dibawah ini:



Lampiran 4
Gambar Pengambilan Data

