

**PEMETAAN SEBARAN BAWAH PERMUKAAN SITUS
ARKEOLOGI BITING BLOK RANDU KABUPATEN LUMAJANG
JAWA TIMUR BERDASARKAN SURVEI GEOLISTRIK
RESISTIVITAS KONFIGURASI WENNER**

SKRIPSI

Oleh:

ZAHRA ANNISA

NIM. 12640007



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

**PEMETAAN SEBARAN BAWAH PERMUKAAN SITUS ARKEOLOGI
BITING BLOK RANDU KABUPATEN LUMAJANG JAWA TIMUR
BERDASARKAN SURVEI GEOLISTRIK RESISTIVITAS KONFIGURASI
WENNER**

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:

**ZAHRA ANNISA
NIM. 12640007**

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

HALAMAN PERSETUJUAN

PEMETAAN SEBARAN BAWAH PERMUKAAN SITUS ARKEOLOGI
 BITING BLOK RANDU KABUPATEN LUMAJANG JAWA TIMUR
 BERDASARKAN SURVEY GEOLISTRIK RESISTIVITAS KONFIGURASI
 WENNER

SKRIPSI

Oleh:

ZAHRA ANNISA

NIM. 12640007

Telah Diperiksa dan Disetujui untuk Diuji:

Tanggal: 14 September 2016

Pembimbing I,

Pembimbing II,

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

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

Mengetahui,
 Ketua Jurusan Fisika

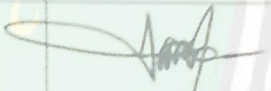
Erna Hastuti, M.Si
 NIP. 19811119 200801 2 009

PEMETAAN SEBARAN BAWAH PERMUKAAN SITUS ARKEOLOGI
BITING BLOK RANDU KABUPATEN LUMAJANG JAWA TIMUR
BERDASARKAN SURVEI GEOLISTRIK RESISTIVITAS KONFIGURASI
WENNER

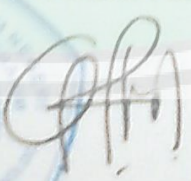
SKRIPSI

Oleh:
ZAHRA ANNISA
NIM. 12640007

Telah Dipertahankan di Depan Dewan Penguji Skripsi dan
Dinyatakan Diterima Sebagai Salah Satu Persyaratan
Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Sains (S.Si)
Tanggal: 15 September 2016

Penguji Utama	: <u>Irfan, M.Si</u> NIP. 19691231 200604 1 003	
Ketua Penguji	: <u>Enka 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>Ummiyatus 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 : ZAHRA ANNISA
 NIM : 12640007
 Jurusan : FISIKA
 Fakultas : SAINS DAN TEKNOLOGI
 Judul Penelitian : Pemetaan Sebaran Bawah Permukaan Situs Arkeologi
 Biting Blok Randu Kabupaten Lumajang Jawa Timur
 Berdasarkan Survei Geolistrik Resistivitas Konfigurasi
 Wenner

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 dipenyes sesuai peraturan yang berlaku.

Malang, 20 September 2016

Yang Membuat Pernyataan,

METERAI
 TEMPEL
 AC55AADF457415863

6000
 ENAM RIBU RUPIAH

ZAHRA ANNISA
 NIM. 12640007

MOTTO

Berusaha Menjadikan Hidup Tidak Sia-sia dengan
Bermanfaat untuk Orang Lain.



HALAMAN PERSEMBAHAN

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

Untuk segala bentuk kasih sayang yang sudah tercurah dan melimpah ruah dari Rabb Semesta Alam, Zat paling Romantis sejagat raya. Untuk Rasulullah yang cinta dan kasihnya hingga kini masih menggema. Untuk almarhum abi yang meski tak tampak mata, doa dan cintanya masih mengalir pada denyut nadi. Untuk umi, ibu terhebat di seluruh dunia, yang kasihnya begitu hangat, untuk adik-adikku yang kuat, untuk saudara-saudaraku yang telah rela menyematkan ukhuwah dan untuk Cinta yang selalu kusemogakan.

Semoga Tuhan menjadikan ini sebagai salah satu hadiah untuk semua orang yang mengasihiku.

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 **Pemetaan Sebaran Bawah Permukaan Situs Arkeologi Biting Blok Randu Kabupaten Lumajang Jawa Timur Berdasarkan Survei Geolistrik Resistivitas Konfigurasi Wenner** 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, umi dan alm abi dan semua keluarga yang telah memberikan dukungan, restu, serta selalu mendoakan disetiap langkah penulis.
8. Eni Purnamasari dan Ahmad Mufidun yang telah banyak membantu dan berbagi ilmu.
9. Teman-teman dan para sahabat terimakasih atas kebersamaan dan persahabatan serta pengalaman selama ini.
10. Semua pihak yang telah membantu dalam penyelesaian skripsi ini yang tak dapat penulis sebut satu per satu.

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

Wassalamu'alaikumWr. Wb.

Malang,

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.....	iii
DAFTAR ISI	x
DAFTAR GAMBAR.....	xii
DAFTAR TABEL	xiii
DAFTAR LAMPIRAN	xiv
ABSTRAK.....	xv
BAB I PENDAHULUAN	
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah	5
1.3 Batasan Masalah	5
1.4 Tujuan Penelitian	6
1.5 Manfaat Penelitian	6
BAB II KAJIAN PUSTAKA	
2.1 Deskripsi Situs Biting	7
2.2 Sejarah Situs Biting.....	8
2.2.1 Letak Geografis Kerajaan Lamajang	11
2.3 Tinjauan Geologi Situs Biting	12
2.4 Rumus Dasar Listrik dalam Metode Geolistrik	16
2.5 Aliran Listrik Dalam Bumi.....	19
2.5.1 Titik Arus Tunggal di Permukaan	19
2.5.2 Dua Titik Arus di Permukaan.....	21
2.6 Sifat Listrik Dalam Batuan.....	24
2.6.1 Resistivitas Batuan dan Mineral	26
2.7 Metode Geolistrik	31
2.7.1 Metode Geolistrik Tahanan Jenis	32
2.7.2 Metode Resistivitas Sounding	36
2.7.3 Metode Resistivitas Mapping.....	36
2.7.4 Konfigurasi Elektrode Wenner.....	37
2.7.5 Resistivitas Semu.....	38
BAB III METODE PENELITIAN	
3.1 Waktu dan Tempat Penelitian.....	40
3.2 Peralatan	41
3.3 Prosedur Pelaksanaan Penelitian	41
3.3.1 Studi Awal.....	42
3.3.2 Tahap Perencanaan Lokasi Penelitian	42
3.3.3 Tahap Akuisisi Data	43
3.3.4 Tahap Pengolahan Data	45
3.3.5 Tahap Interpretasi Data.....	46

BAB IV PEMBAHASAN

4.1 Data Hasil Pengamatan	47
4.2 Interpretasi Data Hasil Penelitian	47
4.3 Situs Arkeologi dalam Tinjauan Al-Quran.....	61

BAB V KESIMPULAN

5.1 Kesimpulan.....	66
5.2 Saran.....	66

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN



DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Benteng Pengintaian Blok Randu.....	9
Gambar 2.2 Peta Geologi Lembar Lumajang.....	14
Gambar 2.3 Rangkaian Listrik Sederhana	16
Gambar 2.4 Dua Buah Resistor.....	18
Gambar 2.5 Sumber Arus Berupa Titik Pada Permukaan Bumi Homogen	21
Gambar 2.6 Dua Pasang Elektroda Arus dan Elektroda Potensial	23
Gambar 2.7 Pola Aliran Arus dan Bidang Ekipotensial	23
Gambar 2.8 Silinder Konduktor	24
Gambar 2.9 Ion-Ion Mineral	28
Gambar 2.10 Skema Akuisisi Data Wenner Mapping.....	37
Gambar 2.11 Konfigurasi Wenner.....	38
Gambar 2.12 Konsep resistivitas semu pada medium	39
Gambar 3.1 Daerah Penelitian.....	40
Gambar 3.2 Resitivity Meter Merek Oyo	41
Gambar 3.3 Flowchart Penelitian	47
Gambar 4.1 Posisi Line 1-Line 4	49
Gambar 4.2 Hasil Pemodelan Mapping Line 1	50
Gambar 4.3 Hasil Pemodelan Mapping Line 2	52
Gambar 4.4 Hasil Pemodelan Mapping Line 3	54
Gambar 4.5 Hasil Pemodelan Mapping Line 4	57
Gambar 4.6 Model Penampang 3D	59
Gambar 4.7 Pendugaan Letak Benteng dan Pondasi Benteng	61
Gambar 4.8 Rekontruksi Arah Benteng Situs Biting Blok Randu	62

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Daya Hantar Batuan	28
Tabel 2.2 Nilai Resistivitas Batuan.....	30
Tabel 2.3 Nilai Resistivitas Batuan Verhoef.....	30
Tabel 2.4 Resitivitas Batuan Sedimen	31
Tabel 4.1 Hasil Interpretasi Line 1	50
Tabel 4.2 Hasil Interpretasi Line 2	52
Tabel 4.3 Hasil Interpretasi Line 3	55
Tabel 4.4 Hasil Interpretasi Line 4	57

DAFTAR LAMPIRAN

- Lampiran 1 Data Hasil Penelitian Geolistrik
- Lampiran 2 Langkah Kerja Software Res2dinv
- Lampiran 3 Langkah Kerja Software Corel Draw dan Photoshop
- Lampiran 4 Gambar Pengambilan Data
- Lampiran 5 Bukti Konsultasi Skripsi



ABSTRAK

Annisa, Zahra. 2016. **Pemetaan Sebaran Bawah Permukaan Situs Arkeologi Biting Blok Randu Kabupaten Lumajang Jawa Timur Berdasarkan Survei Geolistrik Resistivitas Konfigurasi Wenner**. Skripsi. Jurusan Fisika, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Islam Negeri (UIN) Maulana Malik Ibrahim Malang. Pembimbing: (I) Drs. Abdul Basid, M.Si (II) Umaiatus Syarifah, M.A

Kata kunci: Situs Biting, Metode Geolistrik, Nilai Resistivitas

Situs arkeologi Biting merupakan peninggalan kerajaan Lamajang Tigang Juru. Salah satu peninggalan yang tampak dari peradaban ini yaitu sebuah benteng dengan panjang 10 km, lebar 6 meter dan tinggi 10 m. Penelitian ini bertujuan untuk menduga letak sebaran batuan benteng yang masih terpendam di Situs Biting Blok Randu dengan metode Geolistrik. Pengambilan data dilakukan dengan menggunakan alat *Resisitivitymeter* dengan konfigurasi Wenner-mapping. Pengolahan data dan pemodelan dilakukan menggunakan software Res2dinV, Corel Draw dan Photoshop. Hasil penelitian menunjukkan bahwa daerah yang memiliki nilai resistivitas ($>25\Omega m$) adalah nilai resistivitas batu bata. Ini diduga sebagai batuan penyusun benteng. Letak pondasi terletak pada titik A ($8^{\circ}4'41,53''$ LS, $113^{\circ}13'54,04''$ BT), dan titik B ($8^{\circ}4'42,91''$ LS, $113^{\circ}13'54,10''$ BT) dan ($8^{\circ}4'42,20''$ LS, $113^{\circ}13'54,38$ BT) dan dinding yang terpendam terletak pada titik X ($8^{\circ}4'42,45''$ LS, $113^{\circ}13'54,91$ BT) dan ($8^{\circ}4'40,20''$ LS, $113^{\circ}13'54,86$ BT).

ABSTRACT

Annisa, Zahra. 2016. **The Archeologysite Mapping of Biting Subsurface at Randu Block Lumajang Regency East Java According to the Survey Geoelectric Resistivity Wenner Configuration**. Thesis. Department of Physics, Faculty of Science and Technology, the State Islamic University (UIN) Maulana Malik Ibrahim Malang. Supervisor: (I) Drs. Abdul Basid, Msi (II) Umaiatus Syarifah, M.A.

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

Biting archeology site is Lamajang Tigang Juru empire inheritance. One of this empire inheritance appears on the huge wall inheritance whose 10 miles length, 6 meters width, and 10 meters height. This research aimed to predict the fort's boulder which scattered and buried on Situs Biting Blok Randu with Geoelectric method. The data gathered by using Resisitivymeter and configured using wenner-mapping configuration. Data processing and modeling was conducted by using Res2dinV, Corel Draw and Photoshop. It showed that the area which had resistivity ($>25\Omega m$) was the same of resistivity of brick and it was expected as the building block of the empire forts. The foundation placed in point A ($8^{\circ}4'41,53''$ N, $113^{\circ}13'54,04''$ W), and point B ($8^{\circ}4'42,91''$ N, $113^{\circ}13'54,10''$ W) and ($8^{\circ}4'42,20''$ N, $113^{\circ}13'54,38''$ W) and buried part of the wall placed in point X ($8^{\circ}4'42,45''$ N, $113^{\circ}13'54,91''$ W) and ($8^{\circ}4'40,20''$ N, $113^{\circ}13'54,86''$ W).

مستخلص

انيسا زهرة، 2016، رسم الخرائط تحت السطح المواقع الاثرية بيتيغ كتلة راندو لوماجاء اندونيسيا جاوى الشرقية على ضوء دراسة غيو لسترك المقاومة الترتيبية ونور. البحث الجامعي، قسم الفيزياء، كلية العلوم والتكنولوجيا بجامعة مولانا مالك ابراهيم الاسلامي الحكومية بمالانج، المشرف الاول : الدكتور عبد البسيط الماجستير. والمشرفة الثانية: امية الشريفة الماجستير.

الكلمات الأساسية: مواقع البيتيغ، طريقة غيو لسترك، قيم المقاومة

علم الآثار مواقع البيتيغ هو آثار مملكة لمنج تغيغ جر. واحد إرث هذه الحضارة التي تظهر هي القلعة بطول 10 كيل متر، وبعرض 6 أمتار وارتفاعه 10 أمتار. واما الاهداف المرجوة في هذا البحث ليستدل المواقع من خرائط الحجر البروجكمانا في المواقع الاثرية بيتيغ كتلة راندو لوماجاء بطريقة غيو لسترك. واما عملت الباحثة لجمع البيانات وهي باستخدام الالة "رسيستيفي متر بترتيب ونور مافيغ. واما المعلوماتية في هذا البحث وهي باستخدام software res2dinv, corel Draw و photoshop. ($\Omega m \ 25 <$) واما النتائج المحسولة في هذا البحث تدل على ان منطقة التي لديها قيمة المقاومة وهي قيمة المقاومة هذا الطوب كمكونة الصخور المجمعين للقلعة. يقع المؤسسة عند نقطة A ($08^{\circ} 41' 53''$ جنوب خط العرض، $113^{\circ} 04' 04''$) و نقطة B ($08^{\circ} 42' 41''$ جنوب خط العرض و $113^{\circ} 04' 38''$ شرقا) و العرض و $113^{\circ} 04' 10''$ شرقا) و ($08^{\circ} 42' 45''$ جنوب خط العرض، $113^{\circ} 04' 38''$ شرقا) و جدارالذي مسحه يقع في نقطة X ($08^{\circ} 42' 45''$ جنوب خط العرض، $113^{\circ} 04' 91''$ شرقا) و ($08^{\circ} 40' 20''$ جنوب خط العرض، $113^{\circ} 04' 86''$ شرقا).

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Indonesia merupakan salah satu negara yang kaya akan benda-benda purbakala. Indonesia juga merupakan negara dengan sejarah peradaban kerajaan yang besar. Salah satunya adalah kerajaan Lamajang Tigang Juru, salah satu peninggalan yang tampak dari peradaban ini yaitu sebuah benteng dengan panjang 10 km, lebar 6 meter dan tinggi 10 m.

Situs arkeologi Biting ini berada di daerah Lumajang. Situs ini merupakan peninggalan kerajaan Lamajang Tigang Juru. Situs ini terdiri dari benteng pertahanan, kerajaan serta pemandian. Benteng yang berada di Situs Arkeologi Biting ini merupakan satu-satunya benteng terbesar di era kerajaan Majapahit. Situs ini berdiri di area dengan luas wilayah 135 ha dan dibagi menjadi beberapa blok, yaitu blok Randu, blok Duren, blok Salak, blok Keraton, dan blok Jeding. Pada situs ini, terdapat dua buah pengintaian yang telah muncul dipermukaan (*surface finds*) yaitu pada blok Randu dan blok Salak.

Pada tahun 1995 di kawasan Situs Biting mulai dibangun Perumnas Biting yang tentu saja banyak merusak peninggalan sejarah yang ada. Namun pihak-pihak terkait yaitu Balai Pelestarian Peninggalan Purbakala (BP3) Jawa Timur yang merupakan penyelamat seolah diam melihat perusakan ini sehingga sekitar 15 hektar kawasan ini dibangun untuk pemukiman. Hingga pada tahun 2010 lahir sebuah Lembaga Swadaya Masyarakat bernama Masyarakat Peduli Peninggalan Majapahit (MPPM Timur) yang melakukan advokasi pelestarian Situs Biting

dibantu oleh Komunitas Mahasiswa Peduli Lumajang (KMPL). Maka dari itu, perlu dilakukan penyelamatan guna melestarikan Situs Biting.

Majelis Permusyawaratan Rakyat (MPR), melalui penetapannya Nomor: IV/MPR/978 tentang Garis Besar Haluan Negara, khususnya di bidang kebudayaan yang menyebutkan bahwa tradisi dan peninggalan sejarah yang mempunyai nilai perjuangan bangsa, kebanggaan dan kemanfaatan nasional tetap dibina dan dipelihara untuk memupuk, memperkaya dan memberi corak kepada kebudayaan nasional.

Selain itu Allah SWT telah mengisyaratkan agar kita mengambil pelajaran dari kisah-kisah terdahulu, seperti firman-Nya dalam QS. Yusuf (12):111.

لَقَدْ كَانَ فِي قَصَصِهِمْ عِبْرَةٌ لِأُولِي الْأَلْبَابِ مَا كَانَ حَدِيثًا يُفْتَرَى وَلَكِنْ تَصْدِيقَ الَّذِي بَيْنَ يَدَيْهِ وَتَفْصِيلَ كُلِّ شَيْءٍ وَهُدًى وَرَحْمَةً لِّقَوْمٍ يُؤْمِنُونَ ﴿١١١﴾

“Sesungguhnya pada kisah-kisah mereka itu terdapat pengajaran bagi orang-orang yang mempunyai akal. Al Quran itu bukanlah cerita yang dibuat-buat, akan tetapi membenarkan (kitab-kitab) yang sebelumnya dan menjelaskan segala sesuatu, dan sebagai petunjuk dan rahmat bagi kaum yang beriman” (Yusuf[12]:111).

Ayat di atas merupakan anjuran untuk mengambil pelajaran dari kisah orang-orang terdahulu, ayat قَصَصِهِمْ berarti kisah dan ayat عِبْرَةٌ berarti pelajaran, artinya kisah-kisah orang terdahulu mengandung pengajaran dan petunjuk bagi orang-orang yang mau berpikir serta merenungkan.

Kerajaan Lamajang Tigang Juru merupakan kerajaan yang mempunyai bangunan benteng terbesar, salah satu cara untuk mempelajari peninggalan yang tersisa dengan melakukan pencarian sebaran bawah permukaan menggunakan metode geolistrik resistivitas konfigurasi wenner. Metode geolistrik merupakan

salah satu metode geofisika yang digunakan dalam eksplorasi dangkal. Metode ini dilakukan dengan mengukur tahanan jenis material yang ada di dalam permukaan bumi. Metode resistivitas merupakan salah satu metode geofisika yang mempelajari sifat resistivitas dari lapisan batuan di dalam bumi. Prinsip metode resistivitas adalah dengan menginjeksikan arus listrik ke dalam bumi melalui kontak dua elektroda arus, kemudian diukur distribusi potensial yang dihasilkan. Untuk mengetahui struktur bawah permukaan yang lebih dalam, maka jarak masing-masing elektroda arus dan elektroda potensial ditambah secara bertahap. Semakin besar jarak elektroda arus maka efek penembusan arus ke bawah semakin dalam, sehingga batuan yang lebih dalam akan diketahui sifat-sifat fisisnya.

Melalui pengukuran dengan metode geolistrik resistivitas dapat diketahui keadaan lapisan geologi bawah permukaan seperti lapisan akuifer yang di dalamnya tersusun oleh batuan dengan porositas dan permeabilitas yang tinggi dengan menggunakan tahanan jenis batuan. Besarnya tahanan jenis diukur dengan mengalirkan arus listrik dan memperlakukan lapisan batuan sebagai media penghantar arus. Resistivitas yang dihasilkan bukanlah nilai sebenarnya melainkan resistivitas semu. Semakin besar tingkat resistivitas maka semakin sukar untuk menghantarkan arus listrik dan bersifat isolator, begitu pula sebaliknya. Metode resistivitas ini sering digunakan untuk pendugaan lapisan batuan karena cukup sederhana dan biaya pengujian yang murah.

Metode geolistrik resistivitas mempunyai beberapa konfigurasi, antara lain konfigurasi wenner, konfigurasi schumberger, konfigurasi dipol-dipol, dan

beberapa konfigurasi lainnya. Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah konfigurasi wenner.

Metode resistivitas mempunyai keunggulan dalam survei kondisi bawah permukaan tanah. Metode ini 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 baik 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 baik itu 2 dimensi atau 3 dimensi. Penampang resistivitas tersebut digunakan untuk membaca anomali apa saja yang berada di daerah penelitian. Usaha penemuan situs arkeologi dilakukan sebagai upaya pelestarian kebudayaan zaman kuno serta sebagai salah satu aset kekayaan bangsa akan budaya.

1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana letak sebaran batuan benteng yang masih terpendam di Situs Arkeologi Biting Blok Randu di Desa Kutorenon Kabupaten Lumajang Jawa Timur?
2. Bagaimana pemetaan sebaran pondasi benteng di Situs Arkeologi Biting Blok Randu di Desa Kutorenon Kabupaten Lumajang Jawa Timur?

1.3 Tujuan

Tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Untuk mengetahui letak sebaran batuan benteng yang masih terpendam di Situs Biting Blok Randu Kabupaten Lumajang Jawa Timur dengan menggunakan metode geolistrik konfigurasi wenner.
2. Untuk mengetahui pemetaan sebaran pondasi benteng di Situs Biting Blok Randu Kabupaten Lumajang Jawa Timur dengan menggunakan metode geolistrik konfigurasi wenner.

1.4 Batasan Masalah

Pada Penelitian ini memiliki beberapa batasan masalah yaitu:

1. Area cakupan penelitian berada di sekitar situs Arkeologi Biting Blok Randu Desa Kutorenon Kecamatan Sukodono Kabupaten Lumajang Jawa Timur yang terletak pada koordinat $-8^{\circ} 4' 40,55''$ LS dan $113^{\circ} 13' 53,3''$ BT sampai $-8^{\circ} 4' 45,02''$ LS dan $113^{\circ} 13' 50,4''$ BT.
2. Hanya untuk memetakan pondasi benteng yang masih terpendam.
3. Untuk memetakan sebaran pondasi benteng menggunakan software *Res2Dinv*, *Photoshop* dan *Corel Draw*.

1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat yang diperoleh dari penelitian ini adalah memberikan informasi bagi Dinas Purbakala dan Masyarakat Peduli Peninggalan Majapahit tentang situs benteng yang masih terpendam agar dapat dilakukan langkah selanjutnya terkait pelestarian situs.

BAB II KAJIAN PUSTAKA

2.1 Deskripsi Situs Biting

Indonesia merupakan wilayah yang banyak menyimpan peninggalan budaya. Peninggalan-peninggalan budaya tersebut tersebar di berbagai daerah-daerah di Indonesia. Jawa Timur merupakan provinsi yang banyak menyimpan peninggalan budaya khususnya di daerah Lumajang. Salah satu peninggalan budaya yang ada di daerah Lumajang adalah Situs Biting. 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 ini merupakan bekas pusat pemerintahan daerah di bawah pemerintahan pusat pada jaman Kerajaan Majapahit. Keunikan dari situs ini adalah adanya bekas bangunan benteng pertahanan yang jarang sekali ditemukan di daerah lain. Selain itu, juga terdapat peninggalan seperti makam Menak Koncar, bekas pemandian ratu kencana ungu, serpihan-serpihan keramik dan hiasan pada jaman kerajaan Majapahit (Firmanto, Andri, 2011).

Al-Quran telah menyebutkan tentang adanya peninggalan-peninggalan terdahulu yang tersebar di muka bumi dalam Q.S al-Mukmin [40]: 82.

أَفَلَمْ يَسِيرُوا فِي الْأَرْضِ فَيَنْظُرُوا كَيْفَ كَانَ عَاقِبَةُ الَّذِينَ مِنْ قَبْلِهِمْ كَانُوا أَكْثَرَ مِنْهُمْ
وَأَشَدَّ قُوَّةً وَءِثَارًا فِي الْأَرْضِ فَمَا أَغْنَى عَنْهُمْ مَا كَانُوا يَكْسِبُونَ ﴿٨٢﴾

“Maka apakah mereka tidak mengadakan perjalanan di muka bumi lalu memperhatikan bagaimana 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).

Kata **اثار** merupakan jamak dari kata **تراث** yang bermakna peninggalan/bekas. Seperti gedung-gedung atau bangunan lainnya sebagai peninggalan mereka (Jalalain, 1990). Gedung- gedung atau bangunan bisa berupa candi, arca, benteng maupun istana yang masih ada.

Situs Biting adalah sebuah situs arkeologis yang terletak di Desa Kutorenon, Kecamatan Sukodono, Kabupaten Lumajang, Provinsi Jawa Timur. Situs ini merupakan situs peninggalan Kerajaan Lamajang Tigang Juru yang terpendam. Situs ini terdiri dari benteng pertahanan, kerajaan serta pemandian. Benteng yang berada di Situs Arkeologi Biting ini merupakan satu-satunya benteng terbesar di era Kerajaan Majapahit. Situs ini berdiri di area dengan luas wilayah 135 ha dan dibagi menjadi beberapa blok, yaitu blok Randu, blok Duren, blok Salak, blok Keraton, dan blok Jeding. Pada situs ini, terdapat dua buah pengintaian yang telah muncul di permukaan (*surface finds*) yaitu pada blok Randu dan blok Salak.



Gambar 2.1 Benteng Pengintaian Blok Randu (Mansur Hidayat, 2013).

2.2. Sejarah Situs Biting

Penobatan Raja Kertarajasa Jayawardhana sebagai Raja Majapahit yang dilakukan pada 10 November 1293 Masehi ini secara hukum (*de jure*) dapat dikatakan sebagai patokan berdirinya Kerajaan Lamajang Tigang Juru karena secara otomatis, sesuai dengan janji sang raja sewaktu dalam perjuangan di Madura wilayah kerajaan akan dibagi dua bagian. Arya Wiraraja telah ditetapkan di Lamajang (Mansur Hidayat, 2013).

Dalam sejarahnya, 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 disebut Perjanjian Sumenep. Setelah itu Adipati Arya Wiraraja memberi bantuan 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 (Mansur Hidayat, 2013).

Kira-kira 10 bulan setelah pendirian Desa Majapahit ini, kemudian datanglah 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 para penjemput putri Jawa tersebut untuk 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 ini merupakan kekalahan yang paling memalukan karena pasukan besar ini harus lari tercerai-berai.

Setahun setelah pengusiran pasukan Mongol Tar Tar, menurut Kidung Harsawijaya, sesuai dengan Perjanjian Sumenep tepatnya pada 10 November 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 Pendalungan (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, 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 (Mansur Hidayat, 2013).

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 pada 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.

2.2.1 Letak Geografis Kerajaan Lamajang

Menurut Babad Pararaton bahwa Arya Wiraraja sesuai dengan perjanjian Sumenep mendapatkan wilayah bernama Lamajang dan Tigang Juru yang meliputi daerah-daerah yaitu Lamajang Lor dan Lamajang Kidul, kemudian Patukangan atau Panarukan dan Blambangan. Daerah yang disebut Lamajang pada awalnya berkembang mulai dari sekitar Gunung Semeru dan Gunung Bromo dan dimulai dari wilayah selatan dari lembah sekitar daerah Ampel Gading dan Pronojiwo sampai pada daerah yang berbatasan dengan Sungai Asem di Kota Lumajang dan ke timur sampai di wilayah Sadeng atau Kabupaten Jember sekarang. Pusat Kota Lamajang Kidul pada mulanya dapat dirunut di sekitar Candipuro dimana ada sebuah kompleks percandian dan dimungkinkan pemukiman para bangsawan di sekitar Candi Gedong Putri. Sedangkan daerah yang bernama Lamajang Lor terbentang dari utara Sungai Asem sampai Kabupaten Probolinggo sekarang ini. Identifikasi perbatasan dengan Majapahit di sebelah barat kurang begitu jelas, namun kalau yang di sebelah timur sampai di Kecamatan Gending saat ini (Mansur, 2013).

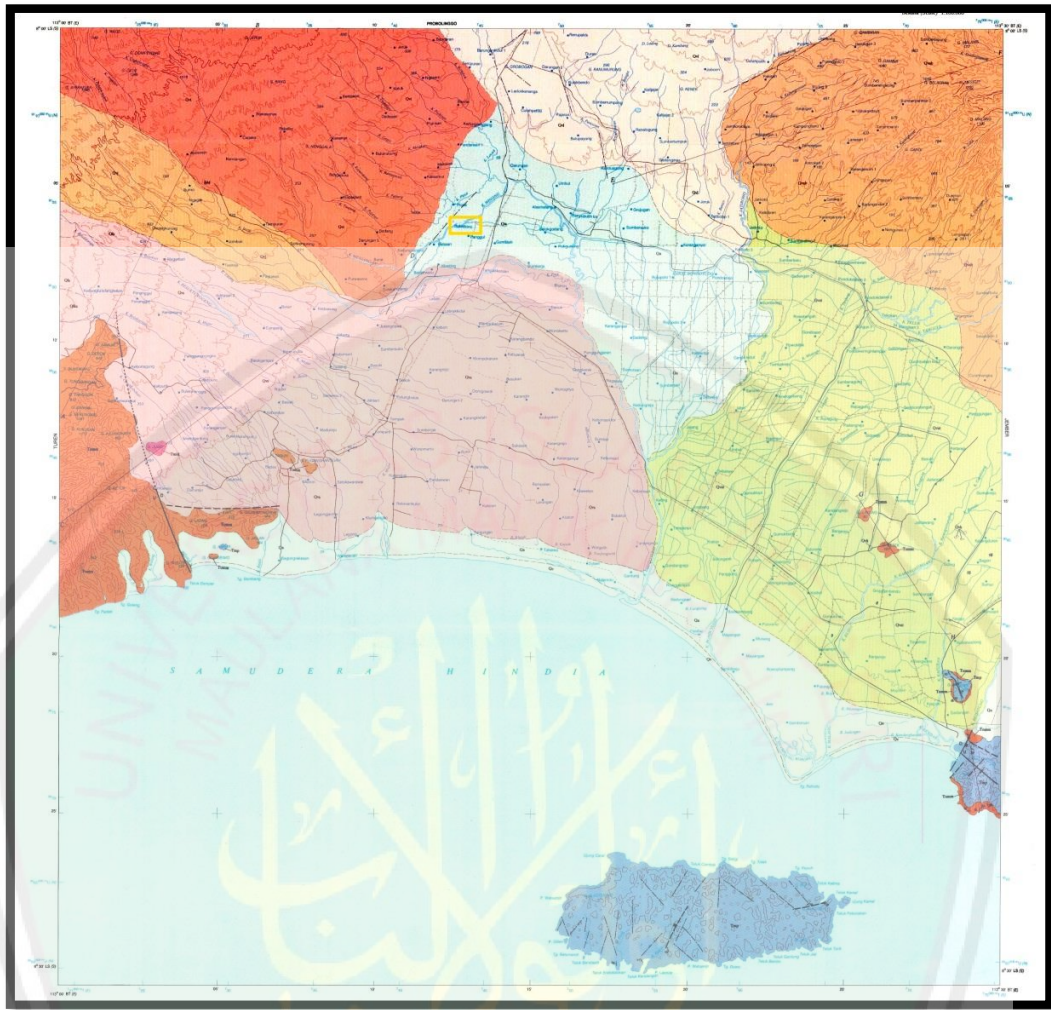
Daerah yang dinamakan Lamajang di masa lalu merupakan daerah yang selama ini meliputi Kabupaten Probolinggo, Kabupaten Lumajang, dan Kabupaten Jember (Mansur, 2013).

2.3 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 brekti tuf, tuf sela bersisipan lava dan tuf di bagian atas. Batuan bagian bawah formasi ini umumnya

telah berubah terutama oleh pempropilitan dan pengersikan dan 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 (T_{mp}) 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 (T_{mid}) 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 brumur 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 (Q_c) dan aluvium (Q_a) (Suwardi dan Suharsono, 1993).



Gambar 2.2 Peta Geologi Lembar Lumajang (Suwardi dan Suharsono, 1992)

Keterangan:

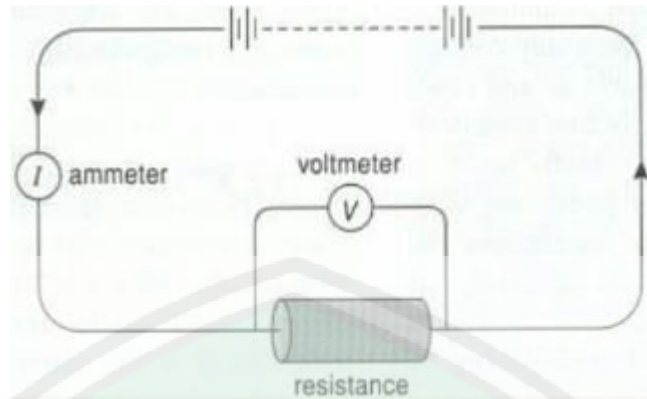
- Qa** m: Lempung, lumpur, pasir, kerikil, kerakal dan bongkah
- Qc** Endapan Pantai: Pasir lepas mengandung magnetik
- Qlks** Lava Parasit Kepolo Semeru : Lava andesit hipersten augit
- Qls** Lava Parasit Semeru : Lava andesit piroksen atau basal olivia
- Qvs** Batuan Gunungapi Semeru : Lava andesit-basal, tuf, breksi gunungapi dan breksi lahar
- Qvt** Batuan Gunungapi Tengger : Lava andesit, tuf dan breksi gunungapi

-  Batuan gunungapi Jembangan : Lava bersusunan andesit piroksen
-  Batuan Gunungapi Lamongan : Breksi gunungapi, tuf dan lava basal
-  Breksi Argopuro : Lava dan breksi gunungapi bersusun Andesit
-  Tuf Argopuro : Tuf sela, breksi tuf dan batupasir tufan
-  Gumuk Gunungapi : Tuf Abu, tuf lapili, dan lava andesit Karangduren
-  Formasi Puger : Bagian atas batugamping hablur dan kalkarenit bagian bawah berupa perselingan batupasir tufa, tuf dan batupasir gampingan
-  Formasi Mandalika : Lava andesit dan breksi gunungapi (terpropilitkan) breksi tuf, tuf sela bersisipan lava dan tuf
-  Batuan Terobosan : diorit, porfiri
-  Lokasi penelitian (Kec. Sukodono)

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

2.4 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 2.3 Rangkaian listrik sederhana (Burger, 1992).

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) (Burger, 1992).

Perpindahan dari muatan-muatan yang melewati kabel penghubung per satuan waktu dinamakan arus. Secara matematis:

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

atau

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

dimana (i) adalah arus dalam ampere, (q) adalah muatan dalam coulomb dan (t) adalah waktu dalam detik (Burger, 1992).

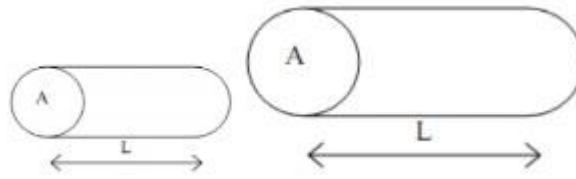
Konsep lain yang sangat penting di dalam survei geolistrik resistivitas adalah rapat arus j. Rapat arus didefinisikan sebagai arus yang melewati suatu penampang lintang per satuan luas, hal tersebut mengikuti

$$j = \frac{i}{A} \quad 2.3$$

Jelas bahwa kuantitas arus yang sama dan melewati luas penampang lintang yang berbeda akan menghasilkan rapat arus yang berbeda. Adalah fisikawan Jerman George Simon Ohm 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, karena 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 2.4 Dua buah resistor dengan panjang dan area penampang lintang yang berbeda (Burger, 1992).

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.

2.5 Aliran Listrik dalam Bumi

2.5.1 Titik Arus Tunggal di Permukaan

Metode pendekatan yang paling sederhana dalam mempelajari secara teoritis tentang aliran arus listrik di dalam bumi adalah bumi dianggap homogen dan isotropis (Telford, 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 2.5.

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

$$I = 2\pi r^2 J = -2\pi r^2 \sigma \frac{dv}{dr} = -2\pi \sigma A \quad 2.7$$

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

Untuk konstanta integrasi A dalam setengah bola yaitu:

$$A = \frac{I\rho}{2\pi} \quad 2.8$$

Sehingga diperoleh:

$$V = -\frac{A}{r} \left(\frac{I\rho}{2\pi} \right) \quad 2.9$$

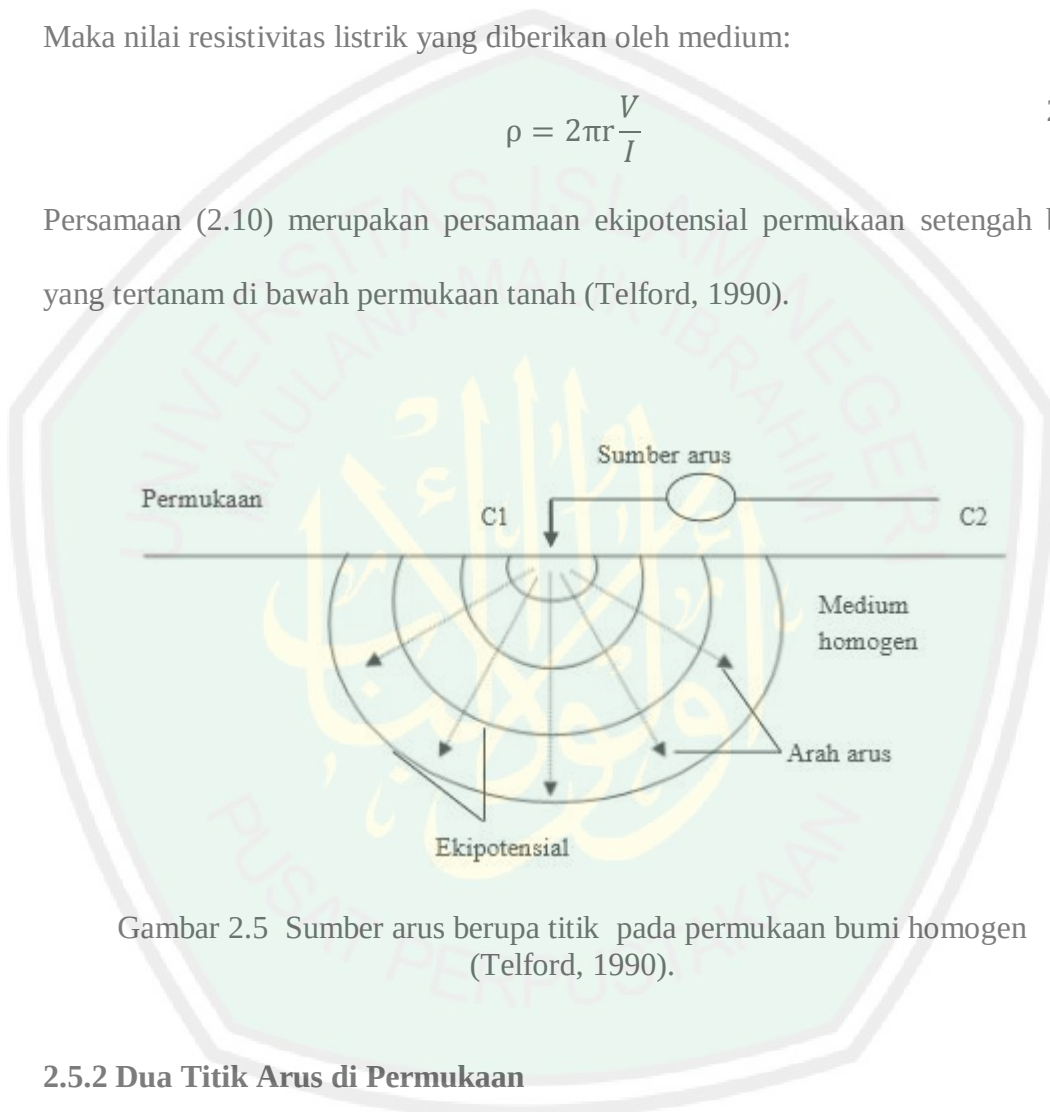
Dimana ΔV = Beda potensial

I = Kuat arus yang dilalui oleh bahan (Ampere)

Maka nilai resistivitas listrik yang diberikan oleh medium:

$$\rho = 2\pi r \frac{V}{I} \quad 2.10$$

Persamaan (2.10) merupakan persamaan ekipotensial permukaan setengah bola yang tertanam di bawah permukaan tanah (Telford, 1990).



Gambar 2.5 Sumber arus berupa titik pada permukaan bumi homogen (Telford, 1990).

2.5.2 Dua Titik Arus di Permukaan

Apabila terdapat elektroda arus C_1 yang terletak pada permukaan suatu medium homogen, terangkai dengan elektroda arus C_2 dan diantaranya ada dua elektroda potensial P_1 dan P_2 yang dibuat dengan jarak tertentu seperti pada (gambar 2.5), maka potensial yang berada di dekat titik elektroda tersebut bisa dipengaruhi oleh kedua elektroda arus. Oleh karena itu potensial P_1 yang disebabkan arus di C_1 adalah:

$$V_1 = -\frac{A_1}{r_1} \quad 2.11$$

dimana

$$A_1 = -\frac{I\rho}{2\pi} \quad 2.12$$

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

$$V_2 = -\frac{A_2}{r_2} \quad 2.13$$

dimana

$$A_2 = -A_1 = \frac{I\rho}{2\pi} \quad 2.14$$

Jika didapatkan potensial total di P_1 :

$$V_1 + V_2 = \frac{I\rho}{2\pi} \left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} \right) \quad 2.15$$

Dengan cara yang sama diperoleh potensial di P_2 yaitu:

$$V_1 + V_2 = \frac{I\rho}{2\pi} \left(\frac{1}{r_3} - \frac{1}{r_4} \right) \quad 2.16$$

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

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

dimana:

ΔV : beda potensial antara P_1 dan P_2

I : arus (A)

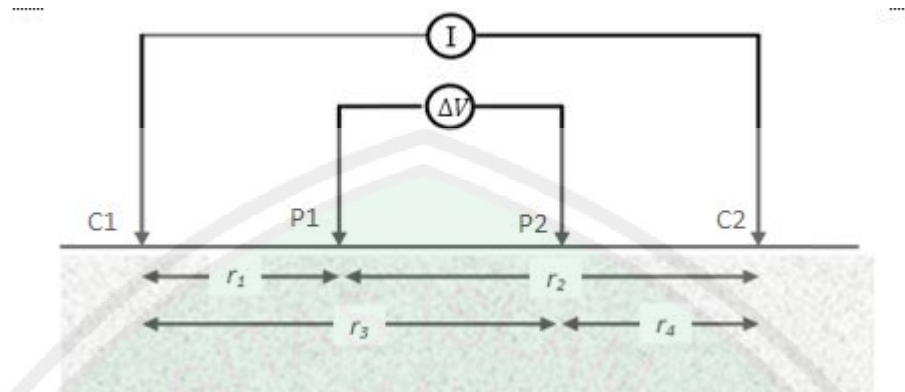
ρ : resistivitas (Ωm)

r_1 : jarak C_1 ke P_1 (m)

r_2 : jarak P_1 ke C_2 (m)

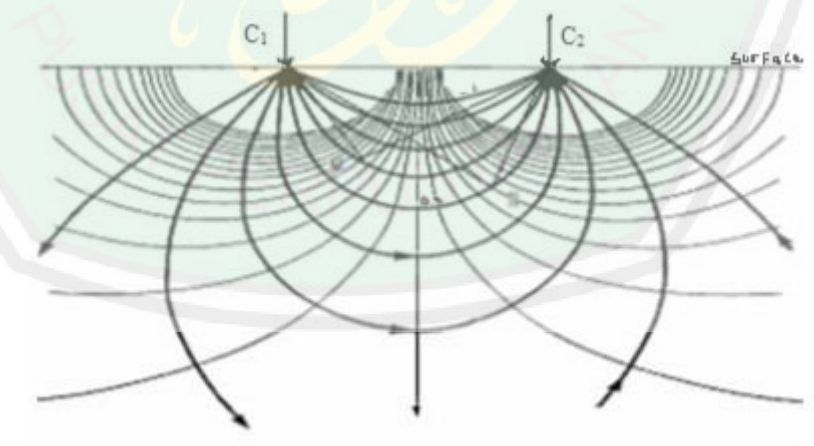
r_3 : jarak C_1 ke P_2 (m)

r_4 : jarak P_2 ke C_2 (m)



Gambar 2.6 Dua pasang elektroda arus dan elektroda potensial pada permukaan medium homogen isotropis dengan resistivitas ρ (Telford, 1990).

Susunan keempat elektroda tersebut merupakan susunan elektroda yang biasanya dalam metode geolistrik resistivitas. Pada konfigurasi ini garis-garis aliran arus dan ekipotensial diubah oleh dekatnya kedua elektroda arus. Perubahan dari garis-garis ekipotensial yang melingkar lebih jelas pada daerah antara dua elektroda arus sebagaimana ditunjukkan pada gambar 2.5 (Reynolds, 1997).



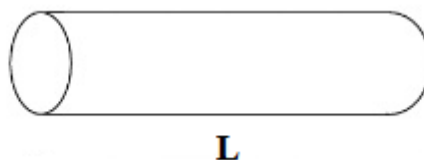
Gambar 2.7 Pola aliran arus dan bidang ekipotensial antara dua elektroda arus dengan polaritas berlawanan (Reynolds, 1997).

2.6 Sifat Listrik dalam Batuan

Aliran arus listrik di dalam batuan dan mineral dapat digolongkan menjadi tiga macam, yaitu konduksi secara elektronik, konduksi secara elektrolitik, dan konduksi secara dielektrik (Telford, 1990).

a. 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) yang menunjukkan kemampuan bahan tersebut untuk menghantarkan arus listrik. Semakin besar nilai resistivitas suatu bahan maka semakin sulit bahan tersebut menghantarkan arus listrik, begitu pula sebaliknya. Resistivitas memiliki pengertian yang berbeda dengan resistansi (hambatan), dimana resistansi tidak hanya bergantung pada bahan tetapi juga bergantung pada faktor geometri atau bentuk bahan tersebut, sedangkan resistivitas tidak bergantung pada faktor geometri. Jika di tinjau suatu silinder dengan panjang L , luas penampang A , dan resistansi R , maka dapat di rumuskan:



Gambar 2.8 Silinder Konduktor (Lowrie, 2007).

$$R = \rho AL \quad 2.18$$

Dimana secara fisis rumus tersebut dapat diartikan jika panjang silinder konduktor (L) dinaikkan, maka resistansi akan meningkat, dan apabila diameter silinder konduktor diturunkan yang berarti luas penampang (A) berkurang maka resistansi juga meningkat. Dimana ρ adalah resistivitas (tahanan jenis) dalam Ωm . Sedangkan menurut hukum Ohm, resistivitas R dirumuskan:

$$R = \frac{I}{V} \quad 2.19$$

sehingga didapatkan nilai resistivitas (ρ)

$$\rho = \frac{VA}{IL} \quad 2.20$$

namun banyak orang lebih sering menggunakan sifat konduktivitas (σ) batuan yang merupakan kebalikan dari resistivitas (ρ) dengan satuan mhos/m.

$$\sigma = \frac{1}{\rho} = \frac{IL}{VA} = \left(\frac{1}{A}\right)\left(\frac{L}{V}\right) = \frac{J}{E} \quad 2.21$$

Di mana J adalah rapat arus ($\frac{\text{Ampere}}{\text{m}^2}$) dan E adalah medan listrik (volt/m)

b. Konduksi secara elektrolitik

Sebagian besar batuan merupakan konduktor yang buruk dan memiliki resistivitas yang sangat tinggi. Namun pada kenyataannya batuan biasanya bersifat porus dan memiliki pori-pori yang terisi oleh fluida, terutama air. Akibatnya batuan-batuan tersebut menjadi konduktor elektrolitik, 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 (Telford, 1990).

Menurut Archie:

$$\rho_e = a\phi^{-m}S^{-n}\rho_w \quad 2.22$$

dimana ρ_e adalah resistivitas batuan, 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. Untuk nilai n yang sama, schlumberger menyarankan $n = 2$ (Rahmawati, 2009).

c. Konduksi secara dielektrik

Konduksi ini terjadi jika batuan atau mineral bersifat dielektrik terhadap aliran arus listrik, artinya batuan atau mineral tersebut mempunyai elektron bebas sedikit, bahkan tidak sama sekali. Elektron dalam batuan berpindah dan berkumpul terpisah dalam inti karena adanya pengaruh medan listrik di luar, sehingga terjadi poliarisasi. Peristiwa ini tergantung pada konduksi dielektrik batuan yang bersangkutan (Telford, 1990).

2.6.1 Resistivitas Batuan dan Mineral

Sifat listrik batuan adalah kelistrikan batuan jika dialirkan arus listrik ke dalamnya. Arus listrik ini dapat berasal dari alam itu sendiri akibat adanya ketidaksetimbangan atau arus listrik sengaja diinjeksikan ke dalam lapisan. Menurut Hendrajaya dan Arif (1990), sifat listrik batuan merupakan karakteristik dari batuan yang dialiri arus listrik ke dalam batuan tersebut.

Arus listrik ini dapat berasal dari alam sendiri sebagai akibat dari ketidakseimbangan konsentrasi atau dapat juga berasal dari arus listrik yang dengan sengaja diinjeksikan ke dalamnya. Arus listrik dapat dihantarkan ke dalam

batuan dengan tiga cara yaitu: konduksi elektrolitik, konduksi dielektrik dan konduksi elektronik. Konduksi elektrolitik terjadi karena adanya pergerakan ion-ion elektrolit yang relatif lambat. Konduksi ini bergantung pada jenis ion, konsentrasi dan mobilitas ion, dimana cairan-cairan elektrolitik mengisi pori-pori batuan. Konduksi dielektrik terjadi jika batuan bersifat dielektrik terhadap aliran arus listrik yaitu, terjadi polarisasi muatan saat bahan dialiri arus listrik. Konduksi elektronik terjadi ketika batuan mempunyai banyak elektron bebas sehingga arus listrik dihantarkan dalam batuan tersebut oleh elektron-elektron bebas (Reynolds, 1997).

Pada umumnya lapisan-lapisan batuan bawah permukaan terdiri atas butiran dan pori-pori yang berisi fluida. Butiran-butiran tersebut adalah mineral-mineral yang mempunyai komposisi kimia tertentu. Sementara fluida yang mengisi pori-pori melarutkan sebagian dari mineral-mineral tadi sehingga fluida tersebut bersifat elektrolit atau mampu menjadi penghantar arus listrik (Suprajitno, 2001).



Gambar 2.9 Ion-ion hasil pelarutan mineral yang ada di dalam pori-pori batuan (Suprajitno, 2001).

Atas dasar azas kelistrikan tersebut diatas maka setiap jenis batuan mempunyai kemampuan tertentu dalam menghantarkan arus listrik. Tabel 2.1 berikut ini memperlihatkan daya hantar listrik dari beberapa jenis batuan.

Tabel 2.1 Daya Hantar Batuan (Suprajitno, 2001).

No	Jenis Batuan	Daya Hantar (Ωm)
1	Batu gamping-marmer	$>10^{12}$
2	Batu garam	$10^6\text{-}10^7$
3	Granit	$5000\text{-}10^6$
4	Batu gamping	120-400
5	Batu lempung	1-120
6	Grafit	$10^{-3}\text{-}10^1$
7	Magnetik	$10^{-2}\text{-}10^1$

Pada gambar 2.7 diperlihatkan pola arus antara dua elektroda (kutub positif dan negatif) yang ditancapkan di permukaan bumi. Karena arus listrik tadi listrik ini menembus jauh ke dalam lapisan-lapisan batuan bawah permukaan maka pekerjaan memasang elektroda tersebut dinamakan *electric sounding* atau lebih tepatnya *resistivity sounding*.

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

Tabel 2.2 Nilai Resistivitas batuan (Suryono, 1999).

No	Jenis Material	Resistivitas (Ωm)
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

Tabel 2.3 Nilai Resistivitas Batuan (Verhoef, 1994).

No	Jenis Batuan	Resistivitas (Ωm)
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 2.4 Resistivitas Batuan Sedimen (Telford, 1990).

No	Material	Nilai Resistivitas(Ωm)
Tanah dan Air		
1	Air Permukaan	80-200
2	Air Tanah	30-100
3	Terdapat Air Tawar	20-60
4	Air Asin	20-200
Batuan Beku dan Metamorf		
1	Tufa	20-200
2	Kelompok Andesit	100-2000
3	Kelompok Granit	1000-10000
4	Lava	$10^2-5 \times 10^4$
5	Kuarsa	$10^2 \times 2 \times 10^8$
Batuan Sedimen		
1	Batu Pasir	$1-4 \times 10^8$
2	Pasir	100-600
3	Pasir dan Kerikil	100-1000
4	Tanah Lempung	1.5-3
5	Tanah liat atau Lempung	1-100
6	Lempung Lanau	3-15
7	Silt-Lempung	10-200
8	Batu Gamping	$50-10^7$
9	Dolomite	$3,5 \times 10^2-5 \times 10^3$
10	Alluvium dan Pasir	10-800
11	Konglomerat	$2 \times 10^3-10^4$

2.7 Metode Geolistrik

Metode Geolistrik digunakan untuk menyelidiki struktur bawah tanah (*sub surface prospecting method*) yang berdasarkan pada beda resistivitas (*resistivity contrast*) antara lapisan-lapisan batuan di bawah permukaan tanah yang diselidiki. Metode Geolistrik dilakukan dengan menginjeksikan arus listrik ke dalam tanah kemudian mengukur besaran tegangan dan kuat arus yang digunakan untuk menghitung resistivitasnya. 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 daripada 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. Asumsinya bahwa kedalaman lapisan batuan yang ditembus oleh arus listrik ini sama dengan separuh dari jarak AB atau lebih dikenal dengan $AB/2$, sehingga dapat diperkirakan pengaruh dari injeksi aliran arus listrik ini berbentuk setengah bola dengan jari-jari bola $AB/2$. Dari hasil pengukuran arus dan beda potensial untuk setiap jarak elektroda tertentu, dapat ditentukan variasi harga hambatan jenis masing-masing lapisan di bawah titik ukur. Survei Geolistrik metode resistivitas *mapping* dan *sounding* menghasilkan informasi perubahan variasi nilai resistivitas baik arah lateral maupun arah vertikal (Loke, 1999).

2.7.1 Metode Geolistrik Tahanan Jenis

Metode pengamatan geofisika pada dasarnya adalah mengamati gejala-gejala gangguan yang terjadi pada keadaan normal. Gangguan ini dapat bersifat statik dapat juga bersifat dinamik, yaitu gangguan yang dipancarkan ke bawah permukaan bumi. Metode geolistrik resistivitas merupakan salah satu metode yang paling umum digunakan dalam eksplorasi geolistrik. Metode ini digunakan untuk menggambarkan keadaan bawah permukaan dengan mempelajari resistivitas listrik dari lapisan batuan di dalam bumi, dimana bumi tersusun atas batuan yang memiliki daya hantar listrik yang berbeda-beda. Pada metode ini, arus listrik dialirkan ke dalam lapisan bumi melalui dua buah elektroda potensial. Dengan diketahuinya harga arus potensialnya maka bisa ditentukan nilai

resistivitasnya. Data yang diperoleh di lapangan merupakan data nilai resistivitas bawah permukaan. Berdasarkan data tersebut kemudian dilakukan perhitungan inversi sehingga diperoleh variasi resistivitas dari suatu sistem pelapisan tanah yang berasosiasi dengan struktur geologi di bawah permukaan (Santoso, 2002).

Berdasarkan nilai resistivitas struktur lapisan bawah permukaan bumi, dapat diketahui jenis material pada lapisan tersebut (Telford, 1990).

Metode geolistrik juga dapat digunakan pada penyelidikan hidrogeologi seperti penentuan akuifer dan adanya kontaminasi, penyelidikan mineral, survei arkeologi dan deteksi hostrocks pada penyelidikan panas bumi (Reynold, 1997).

Azas kelistrikan berlaku pada lapisan-lapisan batuan bawah permukaan dalam arti hukum-hukum fisika tentang listrik dapat diterapkan pada aliran listrik di dalam lapisan-lapisan batuan. Hal tersebut diatas dimungkinkan karena pada umumnya lapisan-lapisan batuan bawah permukaan tersebut terdiri atas butiran dan pori-pori yang berisi fluida. Butiran-butiran tersebut adalah mineral-mineral yang mempunyai komposisi kimia tertentu. Sementara fluida yang mengisi pori-pori melarutkan sebagian dari mineral mineral tadi sehingga fluida tersebut bersifat elektrolit atau mampu menghantar arus listrik (Suprajitno, 2001).

Metode resistivitas merupakan salah satu metode geofisika yang mempelajari sifat resistivitas dari lapisan batuan di dalam bumi. Prinsip metode resistivitas adalah dengan mengijeksikan arus listrik ke dalam bumi melalui kontak dua elektroda arus, kemudian diukur distribusi potensial yang dihasilkan. Resistivitas batuan bawah permukaan dapat dihitung dengan mengetahui besar arus yang dipancarkan melalui elektroda tersebut dan besar potensial yang dihasilkan. Untuk mengetahui struktur bawah permukaan yang lebih dalam, maka

jarak masing-masing elektroda arus dan elektroda potensial ditambah secara bertahap. Semakin besar jarak elektroda arus maka efek penembusaan arus ke bawah semakin dalam, sehingga batuan yang lebih dalam akan diketahui sifat-sifat fisisnya.

Melalui pengukuran dengan metode geolistrik resistivitas dapat diketahui keadaan lapisan geologi bawah permukaan seperti lapisan akuifer yang di dalamnya tersusun oleh batuan dengan porositas dan permeabilitas yang tinggi dengan menggunakan tahanan jenis batuan. Besarnya tahanan jenis diukur dengan mengalirkan arus listrik dan memperlakukan lapisan batuan sebagai media penghantar arus. Resistivitas yang dihasilkan bukanlah nilai sebenarnya melainkan resistivitas semu. Semakin besar tingkat resistivitas, maka semakin sukar untuk menghantarkan arus listrik dan bersifat isolator, begitu pula sebaliknya. Oleh karena itu resistivitas berbanding terbalik dengan konduktivitas atau daya hantar listrik. Metode resistivitas ini biasa digunakan untuk pendugaan lapisan bawah tanah karena cukup sederhana dan murah (Sosrodarsono, 1993).

Dalam pengukuran geolistrik, resistansi yang terukur tidak dapat digunakan untuk memperkirakan jenis lapisan batuan karena hasil pengukuran tersebut masih tergantung dari faktor geometri. Oleh karena itu, harus dilakukan pengolahan data geolistrik untuk mengetahui nilai resistivitas tiap lapisan batuan (Robinson, 1988).

Metode geolistrik resistivitas diterapkan dengan menggunakan sumber arus buatan yang diinjeksikan ke dalam tanah melalui ujung-ujung elektroda (Telford, 1990).

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

2.7.2 Metode Resistivitas *Sounding*

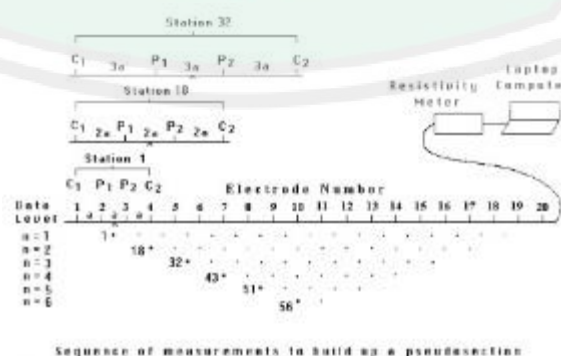
Metode ini dipakai jika ingin mendapatkan distribusi tahanan jenis listrik bumi terhadap kedalaman di bawah suatu titik di permukaan bumi. Dalam metode ini spasi elektroda dengan titik pengukuran diperbesar secara berangsur-angsur. Bila spasinya semakin besar maka efek material yang lebih dalam akan tampak. Metode ini sering dipakai untuk menentukan ketebalan lapisan-lapisan bawah

permukaan, struktur tahanan jenis dari lapisan-lapisan sedimen dan penentuan batuan dasar (Telford, 1990).

Metode pendekatan ini merupakan metode yang konvensional dan populer digunakan dalam survei geofisika termasuk gas, minyak dan eksplorasi batubara. Metode VES mempunyai kelemahan, yaitu tidak akurat untuk ketebalan lapisan tanah 3-30 cm, namun efektif untuk evaluasi bawah permukaan secara horizontal (Verma dan Bandyopadhyay, 1983).

2.7.3 Metode Resistivitas Mapping

Metode pendekatan *mapping* bertujuan untuk mengetahui sebaran variasi nilai resistivitas secara horizontal disamping juga didapatkan variasi nilai tahanan jenis secara vertikal dari hasil akuisisi data lapangan. Dalam akuisisi data dengan menggunakan pendekatan *mapping* atau *profiling*, pengukuran dilakukan dengan memvariasikan jarak spasi elektroda dan memindahkan posisi keseluruhan konfigurasi elektroda pada suatu lintasan untuk memperoleh informasi mengenai distribusi resistivitas batuan baik secara lateral maupun vertikal. Jarak spasi elektroda menentukan kedalaman lapisan bawah permukaan daerah survei.



Gambar 2.10 Skema Akuisisi data Wenner Mapping (Loke, 1990).

Metode ini memiliki resolusi tinggi dalam mendeteksi sebaran geologi secara horizontal, namun kurang detail dalam menggambarkan kondisi geologi secara vertikal. Dalam beberapa referensi, pengukuran metode mapping ini seringkali secara khusus juga disebut dengan *Electrical Resistivity Tomography* (ERT) (Faisol, 2014).

2.7.4 Konfigurasi Elektrode Wenner

Konfigurasi wenner merupakan konfigurasi yang membutuhkan tempat yang sangat luas. Konfigurasi ini tersusun atas 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 yaitu:

$$\rho = 2\pi a \left(\frac{\Delta V}{I} \right) \quad 2.23$$

adapun skema gambar konfigurasi wenner adalah:



Gambar 2.11 Konfigurasi Wenner (Milsom, 2003).

Pengambilan data geolistrik yang ideal dilakukan pada permukaan tanah yang memiliki topografi landai, namun pada kenyataannya di lapangan bervariasi.

Maka dari itu kemiringan permukaan tanah dapat diabaikan jika kemiringan $<15\%$ (Milsom, 2003).

2.7.5 Resistivitas Semu

Pada bagian awal telah disebutkan bahwa dalam metode resistivitas, bumi dianggap sebagai medium yang homogen isotropis, sehingga resistivitas yang terukur merupakan resistivitas (ρ) sebenarnya. Pada kenyataannya bumi terdiri atas lapisan-lapisan dengan resistivitas yang berbeda-beda, sehingga potensial yang terukur dipengaruhi oleh lapisan-lapisan tersebut. Bumi merupakan medium berlapis 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. Konsep resistivitas semu pada medium berlapis ditunjukkan pada gambar 2.12.



Gambar 2.12 Konsep resistivitas semu pada medium berlapis (Milsom, 2003).

Dengan demikian, resistivitas yang terukur bukan merupakan resistivitas untuk satu lapisan saja, terutama untuk jarak elektroda yang lebar. Resistivitas yang terukur merupakan resistivitas semu (ρ_a). Berdasarkan persamaan (2.8) besarnya resistivitas semu adalah:

$$\rho_a = \frac{2\pi}{\left(\frac{I}{AM} - \frac{I}{BM}\right) - \left(\frac{I}{AN} - \frac{I}{BN}\right)} \frac{\Delta V}{I} \quad 2.24$$

atau

$$\rho_a = K \frac{\Delta V}{I} \quad 2.25$$

Dengan K adalah besaran koreksi letak kedua elektroda potensial terhadap letak kedua elektroda arus yang dirumuskan:

$$K = \frac{2\pi}{\left(\frac{I}{AM} - \frac{I}{BM}\right) - \left(\frac{I}{AN} - \frac{I}{BN}\right)} \frac{\Delta V}{I} \quad 2.26$$

BAB III METODE PENELITIAN

3.1 Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian dengan geolistrik untuk menentukan sebaran dan kedalaman batuan benteng ini dilakukan di Situs Arkeologi Biting Blok Randu di Desa Kutorenon Kecamatan Sukodono Lumajang Jawa Timur. Data yang digunakan adalah data primer geolistrik resistivitas.

Pelaksanaan penelitian ini dilakukan pada tanggal 7-8 Mei. Secara lebih detail lokasi penelitian dan lokasi pengukuran ditunjukkan pada gambar 3.1 berikut ini:



Gambar 3.1 Daerah Penelitian (diambil dari Google Earth, 20 Maret 2014)

3.2 Peralatan

Peralatan yang digunakan dalam pengambilan data di lapangan menggunakan metode geolistrik resistivitas, yaitu:

1. Resistivity Meter merek OYYO TIPE MCOHM-EL MODEL-2119D



Gambar 3.2 Resistivity meter merek Oyyo

2. Elektroda Arus dan Potensial (@ 2 unit)
3. Aki kering
4. Kabel arus dan Potensial (@ 2 unit)
5. Palu geologi
6. GPS, sebagai alat penentu posisi lintang, bujur dan ketinggian dari setiap titik ukur
7. Rol meter, sebagai alat pengukur jarak
8. Seperangkat Komputer
9. Software MS Excel
10. Software Corel Draw
11. Software Res2Dinv

3.3 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 dianalisa adalah data anomali resistivitas, kemungkinan adanya situs batuan yang masih terpendam di area penelitian. Berikut ini merupakan urutan tahap dan penjelasan prosedur pelaksanaan penelitian dengan metode geolistrik resistivitas.

3.3.1 Studi Awal

Studi awal merupakan studi kepustakaan (literatur) sebelum melakukan perencanaan penelitian. Penguasaan dasar keilmuan dan wawasan terhadap ilmu yang dibidangi terutama terhadap topik penelitian menjadi kewajiban dan keperluan mendasar sebelum melakukan penelitian. Hasil studi awal ini kemudian bisa dijadikan penunjang dan pertimbangan pada tahapan berikutnya, yaitu penentuan lokasi penelitian yang ideal dan tepat sasaran.

3.3.2 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 tahap-tahap perencanaan lokasi penelitian meliputi penentuan lokasi penelitian, survei lokasi penelitian dan penentuan lintasan pengukuran pada lokasi penelitian.

Pemilihan lokasi penelitian dilakukan berdasarkan 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 elektroda yang akan diterapkan, posisi dan jarak bentangan atau spasi elektroda dan panjang lintasannya.

3.3.3 Tahap Akuisisi Data

Akuisisi data dilakukan di Situs Biting Blok Randu Kecamatan Sukodono Kabupaten Lumajang. Akuisisi atau pengambilan data merupakan tahap 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 benar dan teliti, khususnya terkait dengan lintasan pengukuran yang harus lurus sepanjang arah lintasannya, ketepatan panjang bentangan atau jarak spasi antar elektroda pada setiap pengukuran (pemindahan elektroda arus dan potensial) dan pencatatan data nilai koordinat dan topografi dari GPS pada setiap titik datu (*datum point*). Perlu diperhatikan bahwa perpindahan dan pemasangan elektroda harus sesuai dengan konfigurasi yang digunakan (konfigurasi wenner) dan diatur dengan benar agar diperoleh hasil akuisisi yang akurat. Penempatan elektroda yang tertancap pada kedalaman bawah permukaan harus benar yaitu sekitar 5 cm. Kabel arus dan kabel potensial juga harus terpasang dengan benar sesuai dengan jenis elektrodanya. Pemilihan jenis konfigurasi (konfigurasi wenner) pada penelitian ini didasarkan pada 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 9 meter.

Akuisisi data mapping di area Situs Biting Blok Randu ini terdiri dari 4 lintasan. Adapun panjang masing-masing lintasan pengukuran adalah 57 meter, terdiri dari 4 line yang masing-masing berada di depan benteng, belakang dan samping kanan kiri benteng. Penentuan posisi lintasan pengukuran ini diterapkan berdasarkan referensi mengenai pola lintasan pengukuran yang benar dan ideal (lintasan sejajar) serta sesuai dengan target yang diinginkan, yaitu mengetahui sebaran pondasi benteng.

Pengukuran metode geolistrik konfigurasi mapping ini dilakukan dengan menginjeksikan arus, selanjutnya akan dihasilkan nilai beda potensial ΔV dari variasi batuan bawah permukaan yang terukur pada resistivimeter melalui dua elektroda arus, selanjutnya akan dihasilkan nilai beda potensial ΔV dari variasi batuan bawah permukaan yang terukur pada resistivimeter yang dihasilkan dari dua buah elektroda potensial.

Pengambilan data dilakukan sesuai dengan konfigurasi yang dipakai yaitu konfigurasi Wenner. Pengukuran dimulai dengan mengukur jarak antar elektroda, kemudian elektroda arus (C_1 , C_2) dan elektroda potensial (P_1 , P_2) ditancapkan sesuai dengan susunan konfigurasi Wenner. Setelah itu, ditembakkan arus ke dalam tanah dan dicatat nilai beda potensial (ΔV), kuat arus (I), hambatan (R), datum point dan jarak antar elektroda. Elektroda dipindahkan kembali dengan penambahan jarak spasi untuk elektroda arus dan elektroda potensialnya. Pengukuran dilakukan dengan menginjeksikan arus dan mengukur beda potensialnya. Akuisi data seperti langkah tersebut dilakukan hingga pada datum point lintasan yang terakhir.

3.3.4 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 hasil yang didapat berupa nilai resistansi harus diolah terlebih dahulu dengan mengalikan dengan faktor geometri (k) yaitu sebesar $2\pi a$ sehingga diperoleh nilai resistivitas semu.

Data Mapping dilakukan pengolahan dengan menggunakan software Res2dinV untuk memperoleh gambaran penampang horizontal dan vertikal lapisan bawah permukaan. Data masukan berupa file ekstensi DAT yang terdiri dari datum point, spasi elektroda faktor n dan nilai resistivitas semu. Program ini akan membaca data tersebut yang kemudian akan ditampilkan nilai 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* dan Software *Photoshop*. Kemudian 4 hasil pseudosection dimodelkan sesuai dengan letak lintasan sehingga didapatkan model penampang 3D.

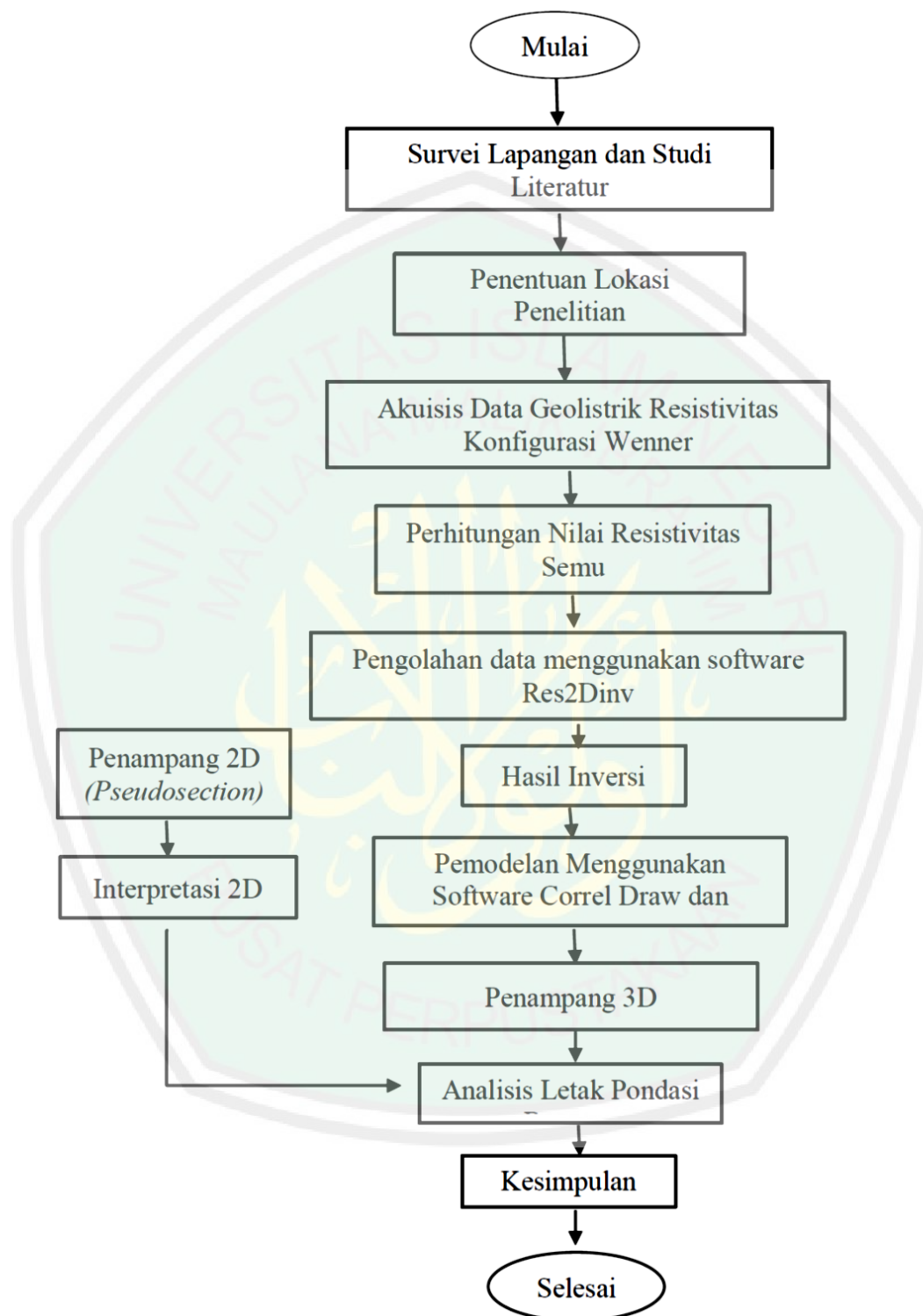
3.3.5 Tahap Interpretasi Data

Interpretasi 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 dan litologi bawah permukaan daerah penelitian akan dapat diketahui secara detail. Selain itu dengan model penampang 3 dimensi yang telah diperoleh, maka sebaran posisi pondasi benteng yang masih terpendam di bawah permukaan dapat diduga.



3.4 Alur Penelitian



Gambar 3.3 *Flowchart* penelitian dengan metode geolistrik tahanan jenis konfigurasi wenner

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Data Hasil Pengamatan

Metode geolistrik resistivitas digunakan sebagai solusi untuk menyelidiki sebaran batuan benteng di sekitar Situs Biting blok Randu yang masih terpendam. Hasil penelitian menggunakan metode geolistrik resistivitas untuk menentukan nilai sebaran resistivitas tanah dan ketebalan tanah di area Situs Biting Blok Randu di Kecamatan Sukodono Kabupaten Lumajang. Diperoleh nilai-nilai resistivitas (R) pada lampiran 1 dan lampiran 2 yang telah dikalikan dengan faktor geometri konfigurasi wenner (K) dengan $K = 2\pi a$ dan diperoleh nilai-nilai resistivitas semu (ρ) (lampiran 1 dan 2) pada setiap pengukuran resistivitas mapping vertikal. Dari hasil tersebut dilakukan konversi data dengan software *Res2Dinv*.

Pemetaan nilai tahanan jenis menggunakan konfigurasi wenner dengan pertimbangan sumber anomali yang dangkal dan data yang diperoleh dapat memberi informasi secara lateral (*mapping*) dan vertikal (*sounding*) (Loke, 1999). Dengan penerapan metode ini diharapkan dapat memberikan informasi mengenai lokasi sebaran dan kedalaman Situs Biting yang masih terpendam.

4.2 Interpretasi Data Hasil Penelitian

Dalam penelitian ini, pengukuran (akuisisi) data mapping wenner geolistrik resistivitas dilakukan pada 4 lintasan pengukuran (*line*) adapun panjang lintasan pengukuran adalah 57 meter dengan pengaturan posisi masing-masing lintasan dapat melokalisir arah sebaran pondasi benteng.



Gambar 4.1 Posisi line 1- line 4

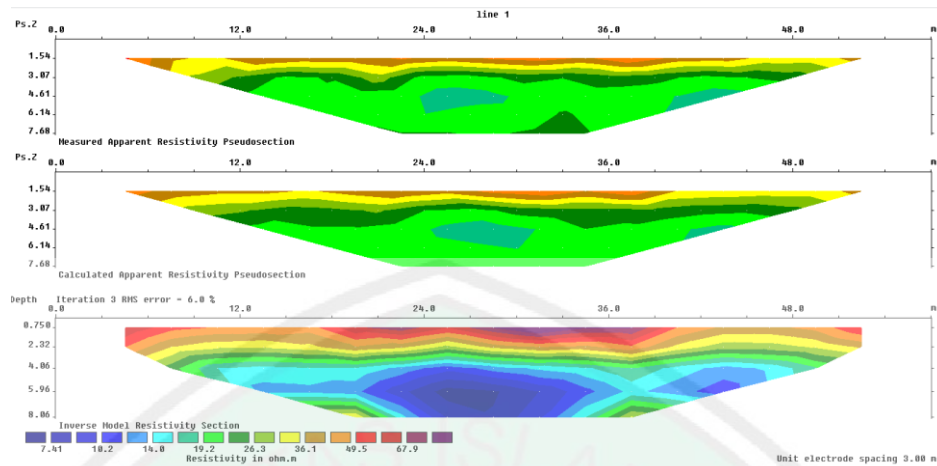
4.2.1 Inversi Data Hasil Penelitian

Dari hasil nilai resistivitas semu tersebut kemudian diolah menggunakan *Software Res2Dinv* untuk mendapatkan tampilan 2D distribusi resistivitas bawah permukaan dalam penampang horisontal dan penampang vertikal pada daerah penelitian sehingga dari hasil pencitraan tersebut akan diperoleh gambar *pseudosection* dari masing-masing lintasan pengukuran.

Penampang *pseudosection* dari masing-masing lintasan pengukuran menggambarkan pola dan karakteristik dari sebaran nilai resistivitas batuan, perlapisan batuan dan keadaan struktur di lapangan secara 2D berdasarkan hasil inversi data. Hasil pengolahan inversi data *mapping* geolistrik resistivitas memperlihatkan hasil interpretasi jenis batuan atau material penyusun di masing-masing lintasan area penelitian, seperti yang ditunjukkan pada tabel 4.1- 4.4.

A. Model Penampang 2 Dimensi (*Pseudosection*) Line 1

Line 1 terletak 2 meter dari benteng di sebelah barat daya benteng pengintaian (pengungkapan) dengan panjang lintasan 57 meter dan spasi 3 meter yang membentang dari barat laut (titik 0 meter) ke tenggara.



Gambar 4.2 Hasil Pemodelan *Mapping Line 1*

Hasil pengolahan data geolistrik *mapping line 1* diperoleh nilai resistivitas yang berkisar antara 7,41-67,9 Ωm , dari hasil interpretasi menunjukkan bahwa identifikasi jenis batuan didominasi oleh lempung lanau pada nilai resistivitas yang berkisar antara 7,41-19,2 yang merupakan batuan sedimen, sedangkan pada nilai resistivitas 26,3-67,9 Ωm merupakan jenis tanah silt-lempung dan pasir yang diduga merupakan batu bata yang menjadi batuan penyusun benteng. Beberapa bagian menunjukkan citra warna yang mencolok perbedaannya yaitu pada titik 5 sampai 53 meter dan kedalaman kedalaman 0 sampai 4 meter serta pada titik 18 sampai 21 meter dan kedalaman 8 meter dan pada titik 37 sampai 39 meter dan kedalaman 8 meter dengan nilai resistivitas berkisar antara 36,1 sampai 67,9 Ωm yang mengidentifikasi beberapa jenis batuan berupa silt-lempung, tanah liat atau lempung, alluvium dan pasir. Diperkirakan pada lapisan tersebut terdapat material penyusun benteng yang terpendam karena mempunyai nilai resistivitas paling besar dibanding dengan nilai geolistrik tahanan jenis penimbun yang umumnya berupa lempung yang berupa material penimbun baru. Selain itu (Isdarmardi, 2013) menyebutkan dalam skripsinya menyebutkan bahwa Nilai

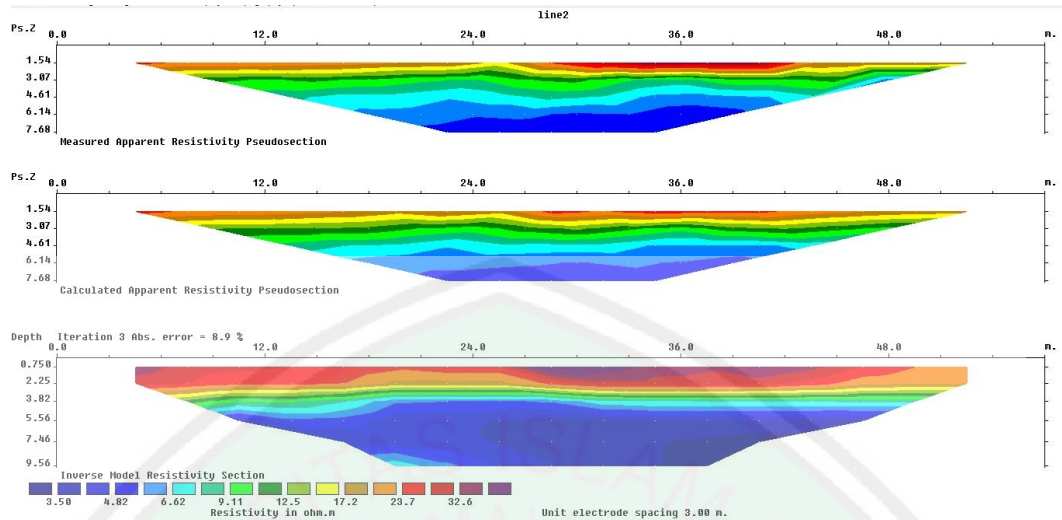
resistivitas yang digunakan untuk menentukan batuan penyusun candi adalah nilai resistivitas batu bata. Dari hasil investigasi geolistrik dan interpretasi hasil investigasi itu diduga terdapat sisa batu bata penyusun pagar halaman Candi Jabung dengan nilai resistivitas 33,0 Ωm sampai 92,6 Ωm . Candi Jabung adalah candi yang terletak di Probolinggo, material penyusun Candi Jabung diperkirakan sama dengan material penyusun Situs Biting karena pada masa itu Candi Jabung masuk wilayah Kerajaan Lamajang Tigang Juru di bawah kekuasaan Arya Wiraraja. (Mo'tazim, 2012) membuat *physical modeling* tentang pemetaan candi yang terpendam akibat erupsi gunung api, dalam penelitian tersebut disimpulkan bahwa untuk abu vulkanik dengan host rock batu bata merah menunjukkan adanya anomali dengan pencitraan warna kuning.

Dari referensi-referensi tersebut dapat diketahui bahwa pada *mapping line* 1 pada kedalaman 0 sampai 4 meter dan 8 meter terdapat batuan penyusun benteng yang berupa bata merah. Pada kedalaman 0 sampai 4 meter diduga merupakan dinding benteng yang terpendam sedangkan pada kedalaman 8 meter merupakan pondasi benteng.

Sedangkan pada kedalaman 4 sampai 7 meter menunjukkan citra warna biru dan hijau dengan kisaran nilai resistivitas 7,41 sampai 26,3 Ωm yang menunjukkan identifikasi jenis batuan berupa lempung dan lempung lanauan.

B. Model Penampang 2 Dimensi (*Pseudosection*) Line 2

Line 2 terletak 12 meter dari benteng di sebelah tenggara benteng pengintaian (pengungkapan) dengan panjang lintasan 57 meter dan spasi 3 meter meter yang membentang dari barat daya (titik 0 meter) ke timur laut.



Gambar 4.3 Hasil Pemodelan Mapping Line 2

Hasil pengolahan data geolistrik *mapping line 2* diperoleh nilai resistivitas yang berkisar antara 3,58-32,6 Ωm , dari hasil interpretasi menunjukkan bahwa identifikasi jenis batuan didominasi oleh lempung lanau pada nilai resistivitas yang berkisar antara 3,58-17,2 Ωm yang merupakan batuan sedimen, sedangkan pada nilai resistivitas 23,7-32,6 Ωm merupakan jenis tanah silt-lempung dan pasir yang diduga merupakan batu bata yang menjadi batuan penyusun benteng.

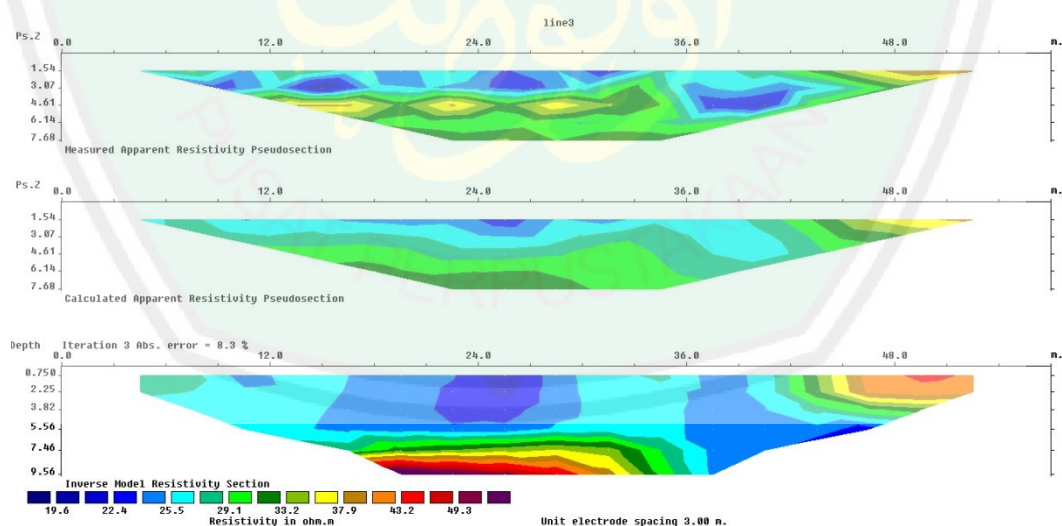
Hasil pengolahan data geolistrik *mapping line 2* menunjukkan bahwa identifikasi jenis batuan didominasi oleh lempung lanau, silt-lempung serta alluvium dan pasir. Beberapa bagian menunjukkan citra warna yang mencolok perbedaannya yaitu pada titik 5 sampai 53 meter dan kedalaman 0 sampai 4 meter dengan nilai resistivitas berkisar antara 17,2 sampai 32,6 Ωm yang mengidentifikasikan beberapa jenis batuan berupa silt-lempung, tanah liat atau lempung, alluvium dan pasir. Diperkirakan pada lapisan tersebut terdapat batuan penyusun benteng benteng yang terpendam karena mempunyai nilai resistivitas paling besar dibanding dengan nilai geolistrik tahanan jenis penimbun yang umumnya berupa lempung lanau dan pasir yang berupa material penimbun baru.

Menurut penelitian terdahulu (Kosmas Isdarmardi, 2013) dan (Mohamad mo'tazim, 2012) nilai resistivitas batu bata yaitu lebih dari $30 \Omega\text{m}$ dan menunjukkan adanya anomali dengan pencitraan warna kuning. Dari referensi-referensi tersebut dapat diketahui bahwa pada mapping line 2 pada kedalaman 0 sampai 4 meter merupakan dinding benteng yang terpendam.

Sedangkan pada kedalaman 4 sampai 7 meter menunjukkan citra warna biru dan hijau dengan kisaran nilai resistivitas $3,58$ sampai $12,5 \Omega\text{m}$ yang menunjukkan identifikasi jenis batuan berupa lempung dan lempung lanauan.

C. Model Penampang 2 Dimensi (*Pseudosection*) Line 3

Line 3 terletak 9 meter dari benteng di sebelah tenggara benteng pengintaian (pengungkapan) dengan panjang lintasan 57 meter dan spasi 3 meter meter yang membentang dari barat daya (titik 0 meter) ke timur laut.



Gambar 4.4 Hasil Pemodelan Mapping Line 3

Hasil pengolahan data geolistrik *mapping line 3* diperoleh nilai resistivitas yang berkisar antara $19,61$ - $49,3 \Omega\text{m}$, dari hasil interpretasi menunjukkan bahwa identifikasi jenis batuan didominasi oleh lempung lanau pada nilai resistivitas yang

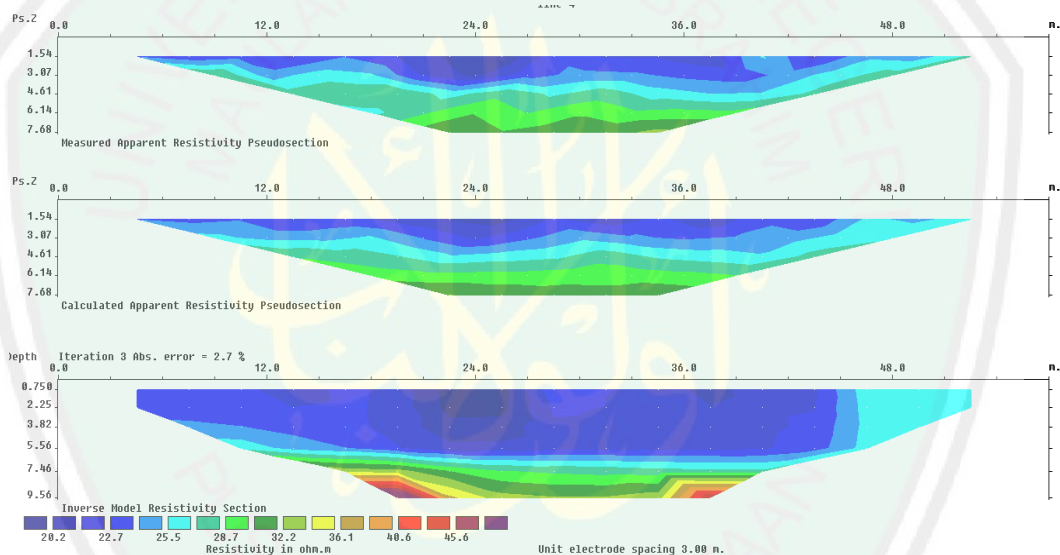
berkisar antara 19,61-22,4 Ωm yang merupakan batuan sedimen, sedangkan pada nilai resistivitas 25,5-49,3 Ωm merupakan jenis tanah silt-lempung dan pasir yang diduga merupakan batu bata yang menjadi batuan penyusun benteng.

Hasil pengolahan data geolistrik *mapping line 3* menunjukkan bahwa identifikasi jenis batuan didominasi oleh lempung lanau, silt-lempung serta alluvium dan pasir. Beberapa bagian menunjukkan citra warna yang mencolok perbedaannya yaitu pada titik 43 sampai 51 meter dan pada kedalaman 0 sampai 3 meter dan pada titik 17 sampai 33 meter dan kedalaman 7 sampai 9 meter dengan nilai resistivitas berkisar antara 37,9 sampai 49,3 Ωm yang mengidentifikasi beberapa jenis batuan berupa silt-lempung, tanah liat atau lempung, alluvium dan pasir. Diperkirakan pada lapisan tersebut merupakan material batuan penyusun benteng yang terpendam, karena mempunyai nilai resistivitas paling besar dibanding dengan nilai geolistrik tahanan jenis penimbun yang umumnya berupa lempung lanau dan pasir yang berupa material penimbun baru. Pada penelitian terdahulu diperoleh hasil bahwa nilai resistivitas batuan penyusun Candi Jabung yang berupa batu bata yaitu lebih dari 30 Ωm , dan pencitraan warna batu bata pada *Res2Dinv* yang diperoleh pemodelan adalah warna kuning. Dari referensi-referensi tersebut dapat diketahui bahwa pada *mapping line 3* pada titik 43 sampai 51 meter dan kedalaman 0 sampai 3 meter merupakan dinding benteng yang terpendam sedangkan pada titik 17 sampai 33 meter dan kedalaman 7 sampai 9 meter merupakan pondasi benteng yang merupakan pondasi pakubumi dari benteng pengintai.

Sedangkan pada kedalaman 0 sampai 7 meter menunjukkan citra warna biru dan hijau dengan kisaran nilai resistivitas 19,6 sampai 33,2 Ωm yang menunjukkan identifikasi jenis batuan berupa lempung dan lempung lanauan.

D. Model Penampang 2 Dimensi (*Pseudosection*) *Line 4*

Line 4 terletak 20 meter dari benteng di sebelah tenggara benteng pengintaian (pengungkapan) dengan panjang lintasan 57 meter dan spasi 3 meter meter yang membentang dari barat laut (titik 0 meter) ke tenggara.



Gambar 4.5 Hasil Pemodelan *Mapping Line 4*

Hasil pengolahan data geolistrik *mapping line 4* diperoleh nilai resistivitas yang berkisar antara 20,2-45,6 Ωm , dari hasil interpretasi menunjukkan bahwa identifikasi jenis batuan didominasi oleh lempung lanau pada nilai resistivitas yang berkisar antara 20,2-22,7 Ωm yang merupakan batuan sedimen, sedangkan pada nilai resistivitas 25,5-45,6 Ωm merupakan jenis tanah silt-lempung dan pasir yang diduga merupakan batu bata yang menjadi batuan penyusun benteng.

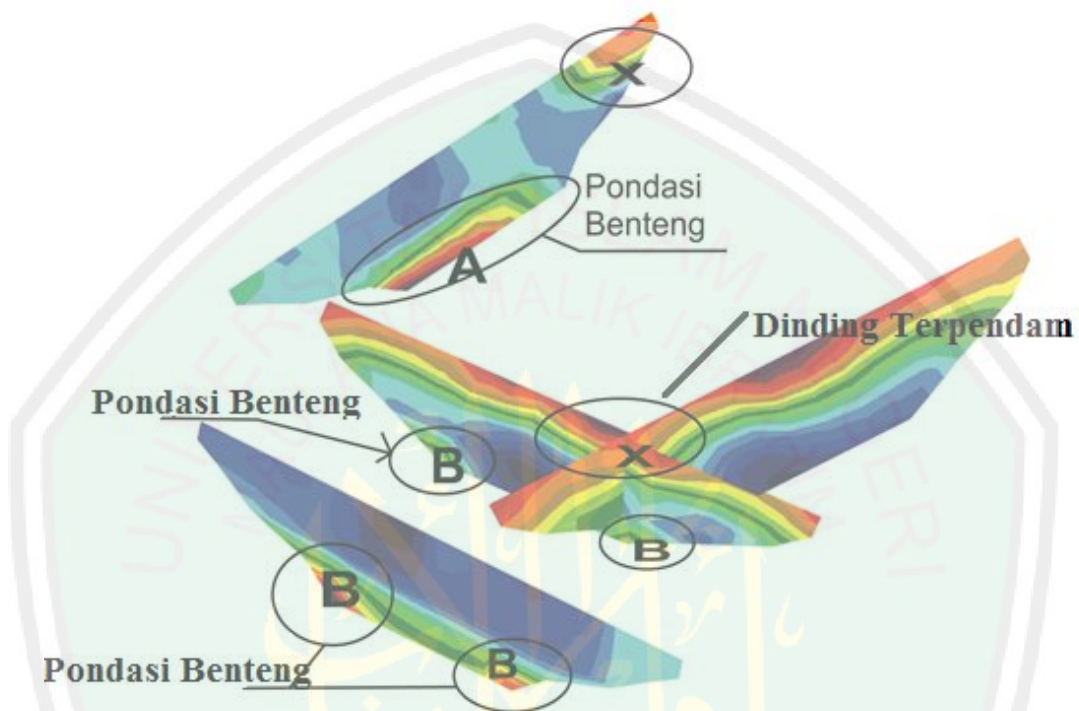
Hasil pengolahan data geolistrik *mapping line 4* menunjukkan bahwa identifikasi jenis batuan didominasi oleh lempung lanau, silt- lempung serta alluvium dan pasir. Beberapa bagian menunjukkan citra warna yang mencolok perbedaannya yaitu pada titik 15 sampai 24 meter dan kedalaman 7 sampai 9 meter serta pada titik 36 sampai 41 meter dan kedalaman 7 sampai 9 meter dengan nilai resistivitas berkisar antara 36,1 sampai 45,6 Ωm yang mengidentifikasi beberapa jenis batuan berupa silt-lempung, tanah liat atau lempung, alluvium dan pasir. Diperkirakan pada lapisan tersebut merupakan pondasi benteng yang terpendam karena merujuk pada penelitian terdahulu dari Kosmas Isdamardi dan Mohamad Mu'tazim, dan juga karena mempunyai nilai resistivitas paling besar dibanding dengan nilai geolistrik tahanan jenis penimbun yang umumnya berupa lempung lanau dan pasir yang berupa material penimbun baru. Dari referensi-referensi tersebut dapat diketahui bahwa pada *mapping line 4* pada titik 15 sampai 24 meter dan kedalaman 7 sampai 9 meter serta pada titik 36 sampai 41 meter dan kedalaman 7 sampai 9 meter merupakan pondasi benteng.

Sedangkan pada kedalaman 0 sampai 7 meter menunjukkan citra warna biru dan hijau dengan kisaran nilai resistivitas 20,2 sampai 32,2 Ωm yang menunjukkan identifikasi jenis batuan berupa lempung dan lempung lanauan.

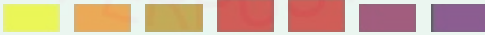
4.2.2 Model Penampang 3 Dimensi

Model penampang 3 dimensi adalah gambar gampar hasil pengolahan data resistivitas berupa penampang 2D yang direkonstruksi menjadi 3D menggunakan *software Corel Draw* dan *Photoshop* sebagaimana gambar 4.6. Pemodelan ini diharapkan mampu menggambarkan kondisi lapisan bawah permukaan dengan korelasi antar setiap lintasan pengukuran pada daerah penelitian (*line*). Selain itu

diharapkan mampu menggambarkan keadaan bawah permukaan dengan berbagai komposisi batuan termasuk batu bata yang diduga menjadi material penyusun batuan benteng.



Gambar 4.6 Model Penampang 3D Pondasi Situs Biting

Pada area penelitian ini, batu bata sebagai material penyusun benteng tersebar di beberapa bagian titik. Pada titik A teridentifikasi citra warna dari kuning sampai ungu  yang diketahui nilai resistivitasnya 37 sampai 50 Ωm yang berdasarkan tabel termasuk jenis tanah silt-lempung, tanah liat atau lempung, alluvium dan pasir yang diduga merupakan batu bata karena mempunyai nilai resistivitas maupun citra warna yang paling mencolok dibanding material yang lain. Pada titik A ini diduga merupakan pondasi utama benteng, yaitu pondasi benteng pengintaian (pengungkapan).

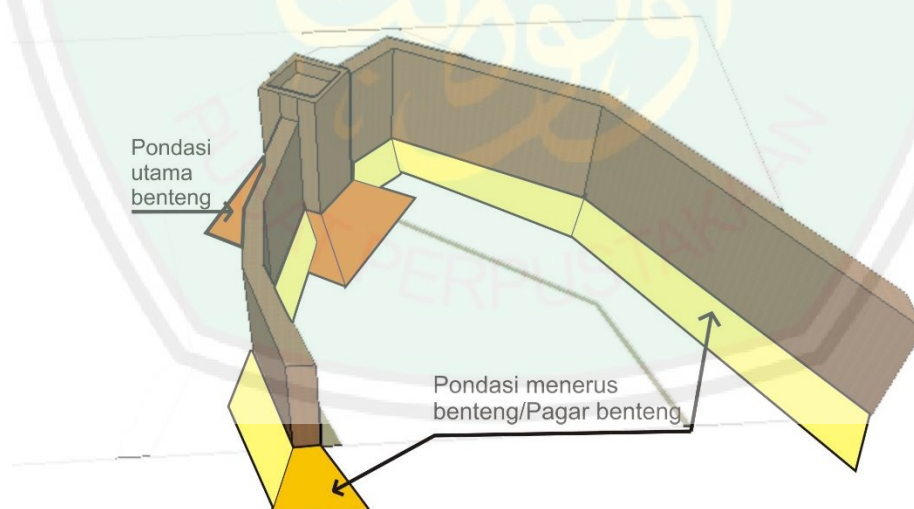
Pada daerah B teridentifikasi citra warna dari kuning sampai ungu   yang diketahui nilai resistivitasnya 36 sampai

46 Ω m yang berdasarkan tabel termasuk jenis tanah silt-lempung, tanah liat atau lempung, alluvium dan pasir yang diduga merupakan batu bata karena mempunyai nilai resistivitas maupun citra warna yang paling mencolok dibanding material yang lain. Pada daerah B ini diduga merupakan pondasi dari benteng yang membentang mengikuti arah sungai.

Pada daerah X teridentifikasi citra warna dari kuning sampai ungu

 yang diketahui nilai resistivitasnya 36 sampai

46 Ω m yang berdasarkan tabel termasuk jenis tanah silt-lempung, tanah liat atau lempung, alluvium dan pasir yang diduga merupakan batu bata karena mempunyai nilai resistivitas maupun citra warna yang paling mencolok dibanding material yang lain. Pada daerah X ini diduga merupakan pondasi dinding benteng. Model pondasi dan benteng tampak seperti yang terlihat pada gambar 4.7.

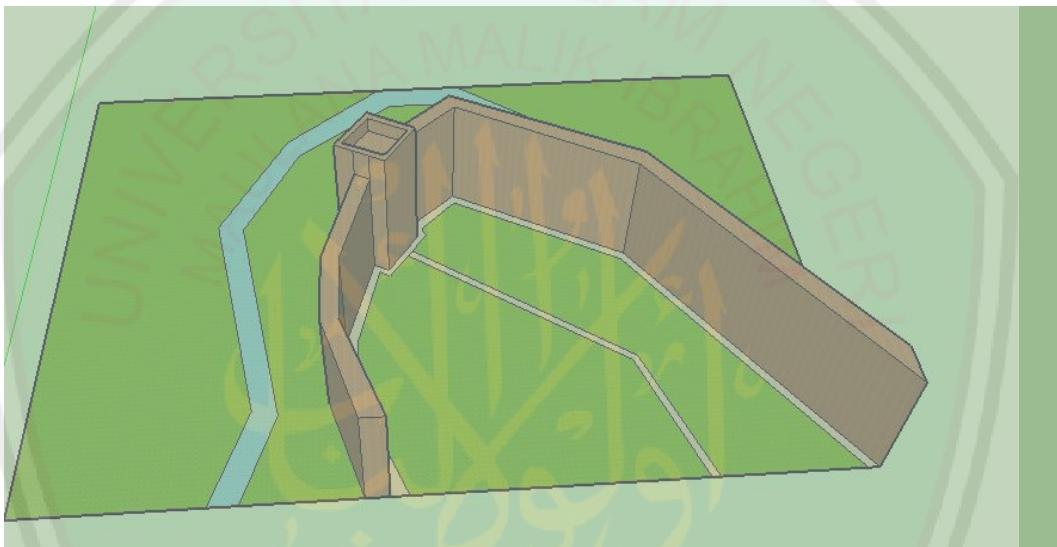


Gambar 4.7 Pendugaan Letak Benteng dan Pondasi Benteng

Arnon atau sekarang yang dikenal dengan nama Situs Biting yang terletak di Desa Kutorenon merupakan keraton atau tempat bermukimnya para pejabat-pejabat penting dengan luas wilayah meliputi kawasan 135 Ha yang dikelilingi

oleh perbentengan yang kokoh dimana ketebalan bentengnya adalah 4-6 meter, tinggi antara 6-10 meter dengan 3 sungai besar dan satu sungai buatan (Mansur Hidayat, 2013).

Dalam penelitian ini letak pondasi utama dan pondasi menerus berada dalam kedalaman 9-10 meter, diduga ketinggian benteng 10 meter dan ketebalannya 6 meter, seperti yang terlihat pada gambar 4.8



Gambar 4.8 Rekontruksi Arah Benteng Situs Biting Blok Randu

4.3 Situs Arkeologi dalam Tinjauan Al-Quran

Al-Quran telah menjelaskan tentang peninggalan-peninggalan orang-orang terdahulu seperti dalam Q.S al-Mukmin [40]: 82 dan Q.S Huud [11]: 100

أَفَلَمْ يَسِيرُوا فِي الْأَرْضِ فَيَنْظُرُوا كَيْفَ كَانَ عَاقِبَةُ الَّذِينَ مِنْ قَبْلِهِمْ كَانُوا أَكْثَرَ مِنْهُمْ
وَأَشَدَّ قُوَّةً وَءَأْثَارًا فِي الْأَرْضِ فَمَا أَعْنَى عَنْهُمْ مَّا كَانُوا يَكْسِبُونَ ﴿٨٢﴾

“Maka apakah mereka tidak mengadakan perjalanan di muka bumi lalu memperhatikan bagaimana 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).

Kata آثار merupakan jamak dari kata تراث yang bermakna peninggalan/bekas. Seperti gedung-gedung atau bangunan lainnya sebagai peninggalan mereka (Jalalain, 1990). Gedung- gedung atau bangunan bisa berupa candi, arca, benteng maupun istana yang masih ada.

Lebih jauh al-Quran juga menjelaskan tentang akhir peradaban dari sebuah bangsa, bekas-bekas peninggalan yang bahkan masih dapat ditemui seperti yang dijelaskan dalam surat Huud [11]: 100

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

“Itu adalah sebagian dari 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.” (Huud [11]: 100)

Ayat-ayat di atas menyebutkan bahwa masih terdapat bekas-bekas orang-orang terdahulu yang tersisa, dan kita sebagai manusia hendaknya mengambil pelajaran darinya. Salah satu caranya adalah dengan mempelajari kisah-kisah orang terdahulu baik sejarahnya maupun benda-benda peninggalannya. Penelitian ini dilakukan agar kita dapat mengambil pelajaran dari bekas-bekas peninggalan Kerajaan Lamajang Tigang Juru khususnya benteng yang terletak di Blok Randu menggunakan metode geolistrik.

Metode geolistrik merupakan salah satu metode geofisika yang digunakan untuk mengetahui lapisan-lapisan batuan. Metode ini sukses digunakan untuk mengetahui lapisan batuan penyusun bumi yang sifatnya dangkal dan memetakan

situs-situs arkeologi yang terpendam, metode ini memanfaatkan perbedaan atau anomali dari setiap jenis tanah yang ada di daerah penelitian. Allah SWT telah menjelaskan tentang tanah yang berlapis-lapis dalam Q.S at- Thalaq [65]: 12

اللَّهُ الَّذِي خَلَقَ سَبْعَ سَمَوَاتٍ وَمِنَ الْأَرْضِ مِثْلَهُنَّ يَتَنَزَّلُ الْأَمْرُ بَيْنَهُنَّ لِتَعْلَمُوا أَنَّ اللَّهَ عَلَىٰ كُلِّ شَيْءٍ قَدِيرٌ وَأَنَّ اللَّهَ قَدْ أَحَاطَ بِكُلِّ شَيْءٍ عِلْمًا ﴿١٢﴾

“Allah-lah yang menciptakan tujuh langit dan seperti itu pula bumi. Perintah Allah berlaku padanya, agar kamu mengetahui bahwasanya Allah Maha Kuasa atas segala sesuatu, dan sesungguhnya Allah ilmu-Nya benar-benar meliputi segala sesuatu.”(Q.S at-Thalaq [65]:12).

Yang dimaksud وَمِنَ الْأَرْضِ مِثْلَهُنَّ yaitu bumi seperti itu pula, yakni berlapis tujuh (Ibnu Katsir, 2012). Rasulullah juga telah bersabda yang mengisyaratkan bahwa bumi mempunyai tujuh lapisan

مَنْ ظَلَمَ مِنَ الْأَرْضِ شَيْئًا طُوفَهُ مِنْ سَبْعِ أَرْضِينَ (رواه البخاري 2285)

“Barangsiapa berbuat kezaliman (menyerobot tanah orang lain meski hanya) sebatas satu jengkal saja, maka ia akan dikalungkan kepadanya dari tujuh bumi” (Bukhari 2285).

Telah dilakukan penelitian oleh U. S. Geological Survey terhadap perut bumi melalui gelombang seismik dan ternyata jumlah lapisan bumi ini adalah tujuh. Hal ini sangat berkesesuaian dengan Al-qur'an dan Al Hadist yang telah disebutkan di atas.

Dari berbagai kajian dan penelitian geofisika membuktikan bahwa bumi terbentuk dari tujuh lapisan tertentu. Ketujuh lapisan tersebut adalah sebagai berikut lapisan kerak bumi (*crust*), *litosfer*, *astenosfer*, *mesosfer*, *outer core*, *inner core* dan *nucleat* padat. Selain itu Allah SWT juga berfirman dalam al-A'raf[7]:58

وَالْبَلَدُ الطَّيِّبُ يَخْرُجُ نَبَاتُهُ بِإِذْنِ رَبِّهِ ۖ وَالَّذِي خَبُثَ لَا يَخْرُجُ إِلَّا نَكِدًا كَذَلِكَ
نُصَرِّفُ الْآيَاتِ لِقَوْمٍ يَشْكُرُونَ ﴿٥٨﴾

“Dan tanah yang baik, tanaman-tanamannya tumbuh subur dengan seizin Allah; dan tanah yang tidak subur, tanaman-tanamannya hanya tumbuh merana. Demikianlah Kami mengulangi tanda-tanda kebesaran (Kami) bagi orang-orang yang bersyukur.” (Q.S. al A’raf[7] : 58)

Dalam ayat tersebut Allah SWT menjelaskan bahwa tentang perumpamaan orang mukmin dan orang kafir sebagai tanah yang subur dan tidak subur. Selain itu, Allah SWT menjelaskan bahwa di bumi terdapat tanah yang baik yang tanamannya tumbuh subur maupun yang tidak subur yang tanamannya tumbuh merana. Hal ini menjelaskan bahwa tanah di bumi ini mempunyai sifat yang berbeda-beda bergantung jenis tanahnya. Di lapisan kerak bumi sendiri terdapat berbagai jenis tanah seperti alluvial, andosol, humus dan lain sebagainya, jenis tanah tersebut memiliki tingkat kesuburan yang berbeda dan memiliki kandungan yang berbeda pula. Dari perbedaan/ anomali tersebut kita bisa menduga apa saja yang ada di bawah permukaan tanah.

Model pendugaan ini menggunakan prinsip bahwa lapisan batuan mempunyai nilai resistivitas yang bervariasi. Besarnya resistivitas diukur dengan mengalirkan arus listrik ke dalam bumi dan memperlakukan lapisan batuan sebagai media penghantar arus. Sehingga saat penelitian bawah permukaan menggunakan metode geolistrik dapat terlihat jelas anomali jenis tanahnya dan sebaran benteng dapat dipetakan.

BAB V PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisa dan interpretasi data penelitian dapat disimpulkan bahwa:

1. Penggunaan metode geolistrik resistivitas dapat melokalisir letak sebaran benteng yang masih terpendam di situs Arkeologi Biting, sebaran benteng terdapat pada seluruh line penelitian dengan nilai resistivitas 20-70 Ω m pada kedalaman 1-4 meter dan pada kedalaman 8-9 meter.
2. Pemetaan sebaran pondasi benteng yaitu pada titik A yang merupakan pondasi benteng utama, Daerah B merupakan pondasi benteng penerus, Daerah X merupakan pondasi dinding benteng.

5.2 Saran

Dilakukan penelitian yang lebih dalam untuk mengetahui kedalaman pondasi, serta dilakukan penelitian di setiap Blok sehingga arah sebaran benteng dapat dipetakan seluruhnya.

DAFTAR PUSTAKA

- Al-Mahally, Imam Jalaluddin dan Imam Jalaluddin As-suyutti. 1990. *Tafsir Jalalain Jilid I*. Bandung: Sinar Baru.
- Bukhari, Abu Abdilah Muhammad Bin Ismail. 1999. *Terjemah Sahih Bukhari*. Jakarta: Wijaya.
- Burger, Robert H. 1992. *Exploration Geophysics of the Shallow Subsurface*. New York: Prentice Hall inc.
- Fanani, Faisol. 2014. *Aplikasi Metode Geolistrik 3D untuk Memetakan Situs Arkeologi Candi Badut di Malang Jawa Timur*. Malang: UIN Maliki Malang
- Hendrajaya, L. dan Arif, I. 1990. *Geolistrik Tahanan Jenis, Monografi: Metode Eksplorasi*. Bandung: ITB.
- Hidayat, Mansur. 2013. *Arya Wiraraja dan Lamajang Tigang Juru: Menafsir Ulang Sejarah Majapahit Timur*. Lumajang: Pustaka Larasan.
- Ibnu Katsir. 2003. *TAFSIR IBNU KATSIR, Jilid 6-7*. Bogor: Pustaka Imam Syafi'I.
- Isdamardi, Kosmas, Adi Susilo dan Sunaryo. 2013. *Pendugaan Struktur Bawah Permukaan Peninggalan Situs Candi Jabung Probolinggo, Indonesia Menggunakan Metode Geolistrik Resistivitas*. NATURAL B vol. 2(1). hal.1-7. [Dikutip dari: <http://natural-b.ub.ac.id/index.php/natural-b/article/view/196> pada 7 Agustus 2016]
- Loke, MH. 1999. *Electrical Imaging Surveys for Environment and Engineering Studies*. Penang: Tanpa Penerbit.
- Loke, MH. 2000. *Electrical Imaging Surveys For Environmental and Engineering Studies: A Practical Guide to 2D and 3D Surveys*. Penang: Tanpa Penerbit.
- Milsom, Jhon. 2003. *Field Geophysics (the Geological Field Guide Series)*. London: John Willey & Sons Ltd
- Mu'tazim, Mohamad. 2012. *Aplikasi Metode Geolistrik untuk Memetakan Situs Candi yang Terpendam Erupsi Gunung Api*. Jember. Universitas Jember
- Robinson, Edwin dan Coruh Cahit. 1988. *Basic Exploration Geophysics*. New York: John Wiley and Sons Ltd.

Santoso, Djoko. 2002. *Pengantar Teknik Geofisika*. Bandung: Departemen Teknik Geofisika ITB.

Suprayitno. 2001. *Identifikasi Keberadaan Urat Sulfida Dengan Metode Geolistrik Resistivitas Konfigurasi Wenner Sounding*. Skripsi. Yogyakarta: UIN Sunan Kalijaga

Suyono, Sosrodarsono dan Kensaku Takeda. 1993. *Hidrologi untuk Pengairan*. Jakarta: Pradnya Paramitha.

Telford, W.M, L.P. Geldart dan R. Sheriff. 2004. *Applied Geophysic*. New York. Cambridge University.

Verhoef, P.N.W. 1994. *Geologi untuk Teknik Sipil*. Jakarta: Erlangga.

Verma, T dan T. K. Bandyopadhyay. 1983. *Use of Resisitivity Method in Geological Mapping Case Histories From Raniganj Coal Field*. India Geophysical Prospecting 31: 490-507.

LAMPIRAN 1
TABEL DATA GEOLISTRIK

Data Line 1

Datum	R1 (Ω)	R2 (Ω)	R3 (Ω)	R4 (Ω)	rerata	I (Ampere)	a	ρ (Ω m)
4.5	2.834	2.633	2.633	2.683	2.69575	20.582	3	50.78793
7.5	2.06	1.915	1.915	1.915	1.95125	20.582	3	36.76155
10.5	1.944	1.807	1.806	1.84	1.84925	20.582	3	34.83987
13.5	2.238	2.238	2.237	2.237	2.2375	20.582	3	42.1545
16.5	2.21	2.053	2.053	2.091	2.10175	20.582	3	39.59697
19.5	2.226	2.07	2.07	2.108	2.1185	20.582	3	39.91254
22.5	2.403	2.219	2.219	2.264	2.27625	20.582	3	42.88455
25.5	2.217	2.06	2.06	2.12	2.11425	20.582	3	39.83247
28.5	2.277	2.277	2.277	2.276	2.27675	20.582	3	42.89397
31.5	2.429	2.429	2.429	2.429	2.429	20.582	3	45.76236
34.5	2.162	2.163	2.163	2.162	2.1625	20.582	3	40.7415
37.5	2.702	2.511	2.511	2.558	2.5705	20.582	3	48.42822
40.5	2.111	2.111	2.111	2.11	2.11075	20.582	3	39.76653
43.5	2.182	2.01	2.01	2.053	2.06375	20.582	3	38.88105
46.5	1.884	1.749	1.749	1.782	1.791	20.582	3	33.74244
49.5	1.837	1.706	1.705	1.738	1.7465	20.582	3	32.90406
52.5	2.173	2.018	2.018	2.056	2.06625	20.582	3	38.92815
48	0.662	0.612	0.613	0.623	0.6275	20.582	6	23.6442
45	0.596	0.664	0.558	0.559	0.59425	20.582	6	22.39134
42	0.594	0.551	0.55	0.561	0.564	20.582	6	21.25152
39	0.656	0.617	0.618	0.627	0.6295	20.582	6	23.71956
36	0.69	0.63	0.631	0.645	0.649	20.582	6	24.45432
33	0.634	0.58	0.582	0.594	0.5975	20.582	6	22.5138
30	0.628	0.627	0.6	0.62	0.61875	20.582	6	23.3145
27	0.581	0.53	0.528	0.541	0.545	20.582	6	20.5356
24	0.581	0.541	0.544	0.552	0.5545	20.582	6	20.89356

21	0.777	0.777	0.72	0.748	0.7555	20.582	6	28.46724
18	0.642	0.583	0.592	0.604	0.60525	20.582	6	22.80582
15	0.602	0.556	0.558	0.568	0.571	20.582	6	21.51528
12	0.717	0.661	0.662	0.675	0.67875	20.582	6	25.5753
9	0.836	0.772	0.772	0.792	0.793	20.582	6	29.88024
13.5	0.387	0.356	0.355	0.363	0.36525	20.582	9	20.64393
16.5	0.381	0.383	0.368	0.378	0.3775	20.582	9	21.3363
19.5	0.381	0.35	0.351	0.366	0.362	20.582	9	20.46024
22.5	0.372	0.346	0.345	0.352	0.35375	20.582	9	19.99395
25.5	0.335	0.308	0.309	0.315	0.31675	20.582	9	17.90271
28.5	0.341	0.32	0.321	0.325	0.32675	20.582	9	18.46791
31.5	0.372	0.374	0.346	0.359	0.36275	20.582	9	20.50263
34.5	0.406	0.305	0.376	0.382	0.36725	20.582	9	20.75697
37.5	0.384	0.351	0.352	0.36	0.36175	20.582	9	20.44611
40.5	0.36	0.327	0.327	0.335	0.33725	20.582	9	19.06137
43.5	0.328	0.302	0.302	0.308	0.31	20.582	9	17.5212
39	0.276	0.25	0.25	0.256	0.258	20.582	12	19.44288
36	0.298	0.274	0.274	0.279	0.28125	20.582	12	21.195
33	0.307	0.302	0.3	0.302	0.30275	20.582	12	22.81524
30	0.276	0.264	0.265	0.267	0.268	20.582	12	20.19648
27	0.277	0.261	0.261	0.265	0.266	20.582	12	20.04576
24	0.271	0.248	0.248	0.253	0.255	20.582	12	19.2168
21	0.258	0.263	0.264	0.267	0.263	20.582	12	19.81968
18	0.307	0.29	0.291	0.295	0.29575	20.582	12	22.28772
22.5	0.24	0.225	0.253	0.238	0.239	20.582	15	22.5138
25.5	0.243	0.224	0.251	0.238	0.239	20.582	15	22.5138
28.5	0.25	0.222	0.232	0.233	0.23425	20.582	15	22.06635
31.5	0.259	0.239	0.239	0.243	0.245	20.582	15	23.079
34.5	0.247	0.23	0.242	0.243	0.2405	20.582	15	22.6551

Data Line 2

Datum	R1(Ω)	R2(Ω)	R3(Ω)	R4(Ω)	rerata	I (Ampere)	a	ρ (Ω m)
4.5	1.258	1.17	1.17	1.191	1.19725	20.582	3	24.6418
7.5	1.175	1.091	1.09	1.111	1.11675	20.582	3	22.98495
10.5	1.18	1.096	1.096	1.117	1.12225	20.582	3	23.09815
13.5	1.19	1.096	1.096	1.142	1.131	20.582	3	23.27824
16.5	1.113	1.036	1.035	1.054	1.0595	20.582	3	21.80663
19.5	1.032	0.958	0.958	0.976	0.981	20.582	3	20.19094
22.5	1.024	0.951	0.951	0.969	0.97375	20.582	3	20.04172
25.5	0.82	0.761	0.761	0.775	0.77925	20.582	3	16.03852
28.5	1.215	1.14	1.141	1.158	1.1635	20.582	3	23.94716
31.5	1.558	1.459	1.459	1.483	1.48975	20.582	3	30.66203
34.5	1.815	1.674	1.672	1.708	1.71725	20.582	3	35.34444
37.5	1.727	1.604	1.604	1.634	1.64225	20.582	3	33.80079
40.5	1.722	1.602	1.601	1.631	1.639	20.582	3	33.7339
43.5	1.03	0.955	0.955	0.973	0.97825	20.582	3	20.13434
46.5	0.97	0.901	0.901	0.918	0.9225	20.582	3	18.9869
49.5	0.97	0.899	0.899	0.916	0.921	20.582	3	18.95602
52.5	0.888	0.887	0.888	0.887	0.8875	20.582	3	18.26653
48	0.298	0.289	0.29	0.291	0.292	20.582	6	6.009944
45	0.566	0.525	0.523	0.533	0.53675	20.582	6	11.04739
42	0.514	0.511	0.493	0.497	0.50375	20.582	6	10.36818
39	0.532	0.49	0.493	0.497	0.503	20.582	6	10.35275
36	0.431	0.403	0.402	0.408	0.411	20.582	6	8.459202
33	0.473	0.436	0.435	0.443	0.44675	20.582	6	9.195009
30	0.54	0.539	0.54	0.54	0.53975	20.582	6	11.10913
27	0.545	0.5	0.502	0.512	0.51475	20.582	6	10.59458
24	0.442	0.441	0.406	0.422	0.42775	20.582	6	8.803951
21	0.494	0.443	0.443	0.453	0.45825	20.582	6	9.431702

18	0.528	0.489	0.488	0.498	0.50075	20.582	6	10.30644
15	0.572	0.522	0.522	0.513	0.53225	20.582	6	10.95477
12	0.538	0.498	0.498	0.508	0.5105	20.582	6	10.50711
9	0.565	0.523	0.523	0.533	0.536	20.582	6	11.03195
13.5	0.404	0.403	0.373	0.387	0.39175	20.582	9	8.062999
16.5	0.375	0.341	0.341	0.349	0.3515	20.582	9	7.234573
19.5	0.358	0.357	0.357	0.357	0.35725	20.582	9	7.35292
22.5	0.349	0.317	0.317	0.325	0.327	20.582	9	6.730314
25.5	0.366	0.363	0.335	0.349	0.35325	20.582	9	7.270592
28.5	0.347	0.318	0.32	0.586	0.39275	20.582	9	8.083581
31.5	0.346	0.316	0.462	0.36	0.371	20.582	9	7.635922
34.5	0.315	0.312	0.287	0.3	0.3035	20.582	9	6.246637
37.5	0.311	0.295	0.296	0.299	0.30025	20.582	9	6.179746
40.5	0.327	0.305	0.305	0.31	0.31175	20.582	9	6.416439
43.5	0.379	0.355	0.355	0.361	0.3625	20.582	9	7.460975
39	0.272	0.252	0.252	0.256	0.258	20.582	12	5.310156
36	0.254	0.244	0.247	0.248	0.24825	20.582	12	5.109482
33	0.283	0.258	0.284	0.272	0.27425	20.582	12	5.644614
30	0.281	0.258	0.257	0.262	0.2645	20.582	12	5.443939
27	0.296	0.296	0.266	0.28	0.2845	20.582	12	5.855579
24	0.3	0.27	0.269	0.276	0.27875	20.582	12	5.737233
21	0.318	0.292	0.291	0.298	0.29975	20.582	12	6.169455
18	0.327	0.296	0.297	0.303	0.30575	20.582	12	6.292947
22.5	0.275	0.25	0.25	0.255	0.2575	20.582	15	5.299865
25.5	0.264	0.241	0.241	0.247	0.24825	20.582	15	5.109482
28.5	0.257	0.231	0.232	0.237	0.23925	20.582	15	4.924244
31.5	0.252	0.25	0.235	0.243	0.245	20.582	15	5.04259
34.5	0.264	0.256	0.241	0.25	0.25275	20.582	15	5.2021

Data Line 3

Datum	R1(Ω)	R2(Ω)	R3(Ω)	R4(Ω)	rerata	I (Ampre)	a	(Ω m)
4.5	1.507	1.398	1.398	1.425	1.432	20.582	3	26.97888
7.5	1.647	1.525	1.527	1.556	1.56375	20.582	3	29.46105
10.5	1.39	1.29	1.29	1.315	1.32125	20.582	3	24.89235
13.5	1.637	1.52	1.52	1.54	1.55425	20.582	3	29.28207
16.5	1.478	1.369	1.372	1.397	1.404	20.582	3	26.45136
19.5	1.367	1.269	1.269	1.297	1.3005	20.582	3	24.50142
22.5	1.456	1.456	1.456	1.455	1.45575	20.582	3	27.42633
25.5	1.319	1.225	1.223	1.247	1.2535	20.582	3	23.61594
28.5	1.422	1.321	1.321	1.346	1.3525	20.582	3	25.4811
31.5	1.252	1.163	1.161	1.184	1.19	20.582	3	22.4196
34.5	1.46	1.461	1.46	1.461	1.4605	20.582	3	27.51582
37.5	1.483	1.376	1.375	1.402	1.409	20.582	3	26.54556
40.5	1.583	1.459	1.459	1.49	1.49775	20.582	3	28.21761
43.5	1.771	1.646	1.646	1.676	1.68475	20.582	3	31.74069
46.5	2.05	1.905	1.904	1.94	1.94975	20.582	3	36.73329
49.5	2.145	2.145	2.144	2.144	2.1445	20.582	3	40.40238
52.5	2.145	1.996	1.993	2.03	2.041	20.582	3	38.45244
48	0.884	0.817	0.817	0.833	0.83775	20.582	6	31.56642
45	0.752	0.698	0.698	0.711	0.71475	20.582	6	26.93178
42	0.694	0.644	0.644	0.566	0.637	20.582	6	24.00216
39	0.732	0.674	0.675	0.688	0.69225	20.582	6	26.08398
36	0.687	0.648	0.653	0.66	0.662	20.582	6	24.94416
33	1.326	0.631	0.625	0.801	0.84575	20.582	6	31.86786
30	0.637	0.954	0.597	0.606	0.6985	20.582	6	26.31948
27	0.636	0.591	0.593	0.603	0.60575	20.582	6	22.82466
24	0.675	0.626	0.625	0.638	0.641	20.582	6	24.15288
21	0.714	0.659	0.66	0.673	0.6765	20.582	6	25.49052
18	0.724	0.666	0.667	0.681	0.6845	20.582	6	25.79196

15	0.531	0.491	0.492	0.501	0.50375	20.582	6	18.9813
12	0.7245	0.672	0.672	0.685	0.688375	20.582	6	25.93797
9	0.6345	0.588	0.588	0.5995	0.6025	20.582	6	22.7022
13.5	0.675	0.674	0.674	0.674	0.67425	20.582	9	38.10861
16.5	0.7025	0.647	0.675	0.6815	0.6765	20.582	9	38.23578
19.5	0.594	0.557	0.561	0.581	0.57325	20.582	9	32.40009
22.5	0.678	0.678	0.675	0.674	0.67625	20.582	9	38.22165
25.5	0.596	0.555	0.556	0.565	0.568	20.582	9	32.10336
28.5	0.659	0.656	0.655	0.656	0.6565	20.582	9	37.10538
31.5	0.619	0.578	0.578	0.588	0.59075	20.582	9	33.38919
34.5	0.55	0.549	0.549	0.549	0.54925	20.582	9	31.04361
37.5	0.418	0.385	0.386	0.394	0.39575	20.582	9	22.36779
40.5	0.373	0.374	0.381	0.381	0.37725	20.582	9	21.32217
43.5	0.55	0.549	0.549	0.549	0.54925	20.582	9	31.04361
39	0.418	0.385	0.386	0.394	0.39575	20.582	12	29.82372
36	0.373	0.374	0.381	0.381	0.37725	20.582	12	28.42956
33	0.411	0.38	0.381	0.388	0.39	20.582	12	29.3904
30	0.405	0.373	0.373	0.38	0.38275	20.582	12	28.84404
27	0.413	0.388	0.391	0.409	0.40025	20.582	12	30.16284
24	0.341	0.425	0.386	0.384	0.384	20.582	12	28.93824
21	0.42	0.387	0.387	0.395	0.39725	20.582	12	29.93676
18	0.425	0.398	0.401	0.407	0.40775	20.582	12	30.72804
22.5	0.363	0.337	0.337	0.343	0.345	20.582	15	32.499
25.5	0.358	0.357	0.356	0.349	0.355	20.582	15	33.441
28.5	0.347	0.32	0.322	0.327	0.329	20.582	15	30.9918
31.5	0.345	0.352	0.353	0.343	0.34825	20.582	15	32.80515
34.5	0.349	0.354	0.326	0.346	0.34375	20.582	15	32.38125

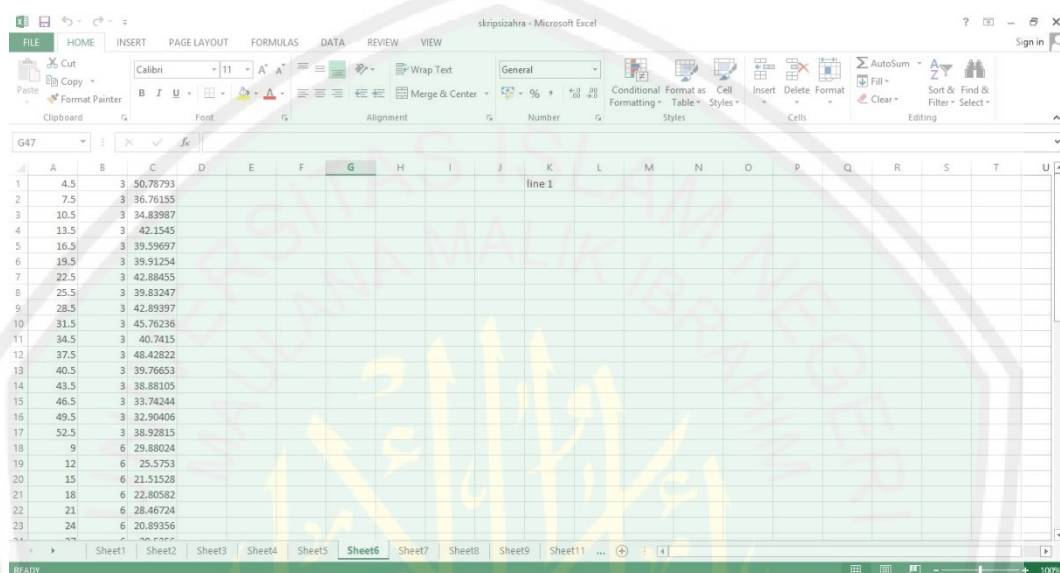
Data Line 4

Datum	R1(Ω)	R2(Ω)	R3(Ω)	R4(Ω)	rerata	I(Ampre)	a	(Ω m)
4.5	1.3606	1.223	1.223	1.244	1.26265	20.582	3	23.78833
7.5	1.264	1.171	1.171	1.194	1.2	20.582	3	22.608
10.5	1.308	1.219	1.219	1.24	1.2465	20.582	3	23.48406
13.5	1.257	1.165	1.165	1.187	1.1935	20.582	3	22.48554
16.5	1.335	1.243	1.242	1.265	1.27125	20.582	3	23.95035
19.5	1.218	1.219	1.219	1.15	1.2015	20.582	3	22.63626
22.5	1.188	1.094	1.094	1.117	1.12325	20.582	3	21.16203
25.5	1.128	1.046	1.047	1.066	1.07175	20.582	3	20.19177
28.5	1.238	1.447	1.147	1.169	1.25025	20.582	3	23.55471
31.5	1.259	1.168	1.168	1.19	1.19625	20.582	3	22.53735
34.5	1.26	1.166	1.167	1.193	1.1965	20.582	3	22.54206
37.5	1.216	1.128	1.128	1.149	1.15525	20.582	3	21.76491
40.5	1.361	1.362	1.362	1.361	1.3615	20.582	3	25.65066
43.5	1.241	1.153	1.175	1.175	1.186	20.582	3	22.34424
46.5	1.402	1.299	1.3	1.325	1.3315	20.582	3	25.08546
49.5	1.375	1.279	1.279	1.304	1.30925	20.582	3	24.66627
52.5	1.455	1.455	1.455	1.455	1.455	20.582	3	27.4122
48	0.774	0.719	0.722	0.734	0.73725	20.582	6	27.77958
45	0.746	0.685	0.686	0.701	0.7045	20.582	6	26.54556
42	0.688	0.636	0.636	0.649	0.65225	20.582	6	24.57678
39	0.653	0.602	0.601	0.614	0.6175	20.582	6	23.2674
36	0.669	0.608	0.609	0.623	0.62725	20.582	6	23.63478
33	0.675	0.632	0.635	0.644	0.6465	20.582	6	24.36012
30	0.662	0.641	0.648	0.651	0.6505	20.582	6	24.51084
27	0.657	0.609	0.61	0.621	0.62425	20.582	6	23.52174
24	0.58	0.548	0.551	0.557	0.559	20.582	6	21.06312
21	0.62	0.583	0.589	0.595	0.59675	20.582	6	22.48554
18	0.717	0.665	0.665	0.677	0.681	20.582	6	25.66008

15	0.729	0.679	0.68	0.692	0.695	20.582	6	26.1876
12	0.684	0.644	0.645	0.654	0.65675	20.582	6	24.74634
9	0.799	0.743	0.744	0.757	0.76075	20.582	6	28.66506
13.5	0.517	0.478	0.478	0.487	0.49	20.582	9	27.6948
16.5	0.537	0.49	0.49	0.501	0.5045	20.582	9	28.51434
19.5	0.529	0.491	0.494	0.502	0.504	20.582	9	28.48608
22.5	0.481	0.455	0.46	0.469	0.46625	20.582	9	26.35245
25.5	0.514	0.489	0.492	0.496	0.49775	20.582	9	28.13283
28.5	0.487	0.465	0.469	0.472	0.47325	20.582	9	26.74809
31.5	0.517	0.483	0.484	0.492	0.494	20.582	9	27.92088
34.5	0.489	0.453	0.453	0.461	0.464	20.582	9	26.22528
37.5	0.475	0.441	0.441	0.449	0.4515	20.582	9	25.51878
40.5	0.478	0.439	0.44	0.459	0.454	20.582	9	25.66008
43.5	0.522	0.47	0.47	0.482	0.486	20.582	9	27.46872
39	0.384	0.384	0.384	0.391	0.38575	20.582	12	29.07012
36	0.409	0.378	0.377	0.385	0.38725	20.582	12	29.18316
33	0.409	0.373	0.373	0.382	0.38425	20.582	12	28.95708
30	0.411	0.411	0.379	0.394	0.39875	20.582	12	30.0498
27	0.39	0.373	0.375	0.378	0.379	20.582	12	28.56144
24	0.418	0.392	0.394	0.399	0.40075	20.582	12	30.20052
21	0.396	0.368	0.369	0.375	0.377	20.582	12	28.41072
18	0.406	0.256	0.388	0.357	0.35175	20.582	12	26.50788
22.5	0.361	0.332	0.332	0.339	0.341	20.582	15	32.1222
25.5	0.335	0.316	0.319	0.322	0.323	20.582	15	30.4266
28.5	0.345	0.327	0.33	0.333	0.33375	20.582	15	31.43925
31.5	0.366	0.32	0.319	0.331	0.334	20.582	15	31.4628
34.5	0.366	0.339	0.337	0.344	0.3465	20.582	15	32.6403

LAMPIRAN 2

Sebelum dilakukan pengolahan data geolistrik menggunakan software Res2Dinv, hasil data di lapangan diolah menggunakan software Ms Excel. Copy Datum point, spasi terkecil dan rho.



	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U
1	4.5	3	50.78793								line 1										
2	7.5	3	36.76155																		
3	10.5	3	34.83987																		
4	13.5	3	42.1545																		
5	16.5	3	39.59697																		
6	19.5	3	39.91254																		
7	22.5	3	42.88455																		
8	25.5	3	39.83247																		
9	28.5	3	42.89397																		
10	31.5	3	45.76236																		
11	34.5	3	40.7415																		
12	37.5	3	48.42822																		
13	40.5	3	39.76653																		
14	43.5	3	38.88105																		
15	46.5	3	33.74244																		
16	49.5	3	32.90406																		
17	52.5	3	38.92815																		
18	9	6	29.88024																		
19	12	6	25.5753																		
20	15	6	21.51528																		
21	18	6	22.80582																		
22	21	6	28.46724																		
23	24	6	20.89356																		

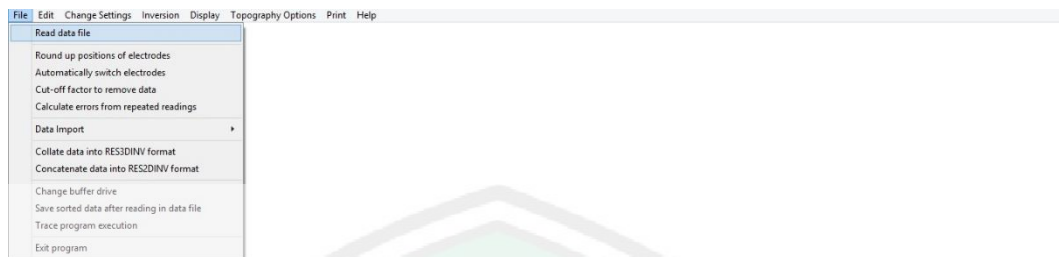
Kemudian data dari excel tersebut di copy di notepad dengan format konfigurasi wenner seperti di bawah ini. Kemudian di simpan.

A screenshot of a Notepad window titled "line1 - Notepad". The window contains a list of numerical data organized into three columns: A, B, and C. The data is as follows:

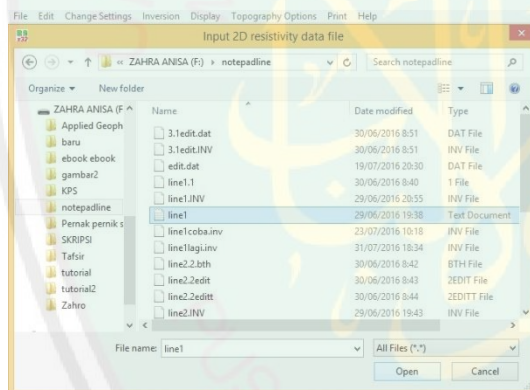
	A	B	C
4.5	3	50.78793	
7.5	3	36.76155	
10.5	3	34.83987	
13.5	3	42.1545	
16.5	3	39.59697	
19.5	3	39.91254	
22.5	3	42.88455	
25.5	3	39.83247	
28.5	3	42.89397	
31.5	3	45.76236	
34.5	3	40.7415	
37.5	3	48.42822	
40.5	3	39.76653	
43.5	3	38.88105	
46.5	3	33.74244	
49.5	3	32.90406	
52.5	3	38.92815	
9	6	29.88024	
12	6	25.5753	
15	6	21.51528	
18	6	22.80582	
21	6	28.46724	
24	6	20.89356	
27	6	20.5356	
30	6	23.3145	
33	6	22.5138	
36	6	24.45432	
39	6	23.71956	
42	6	21.25152	
45	6	22.39134	

The background of the Notepad window features a large, faint watermark of the Indonesian National Emblem (Garuda Pancasila) and the text "USAT PERPUSTAKAAN" in a stylized font.

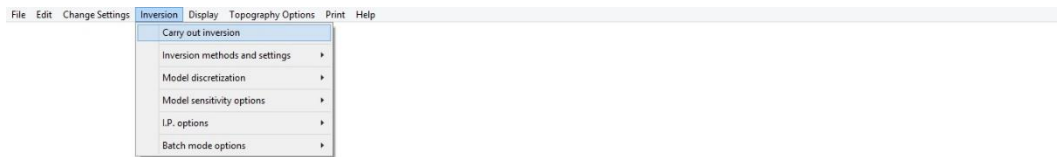
Langkah selanjutnya yaitu membuka software Res2Dinv kemudian klik file dan read data file



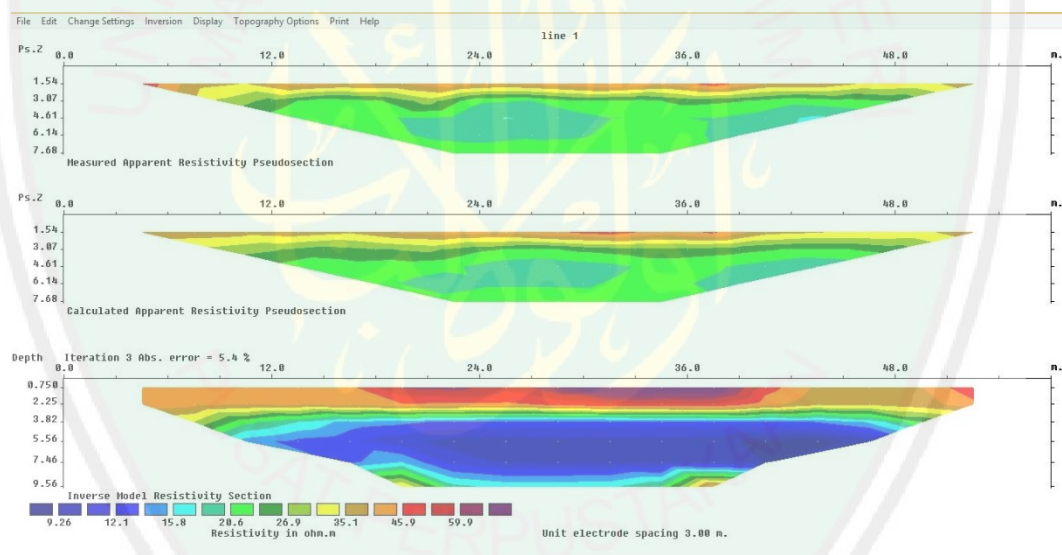
Kemudian pilih file dari notepad yang tadi telah disimpan



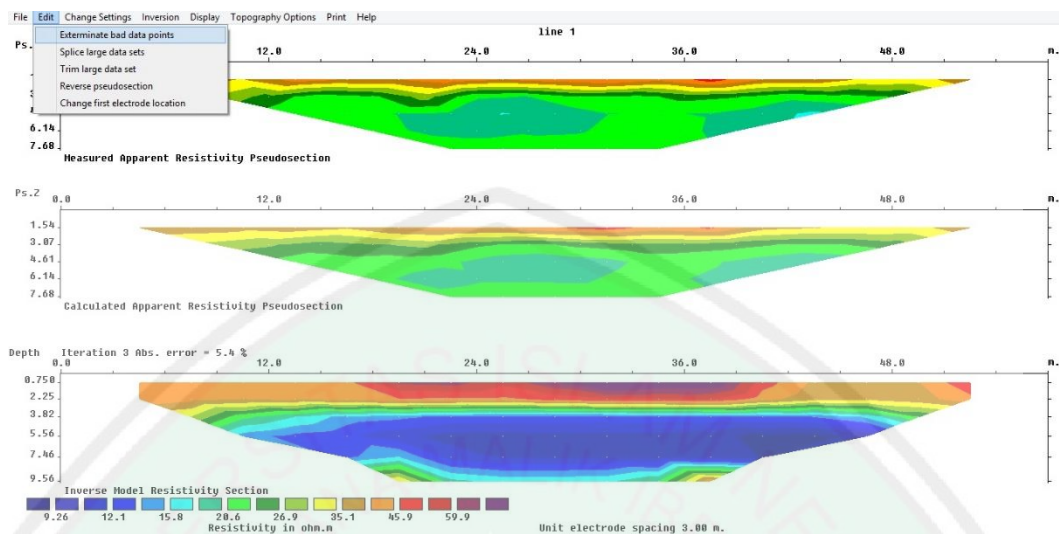
Kemudian klik inversion- carry out Inversion



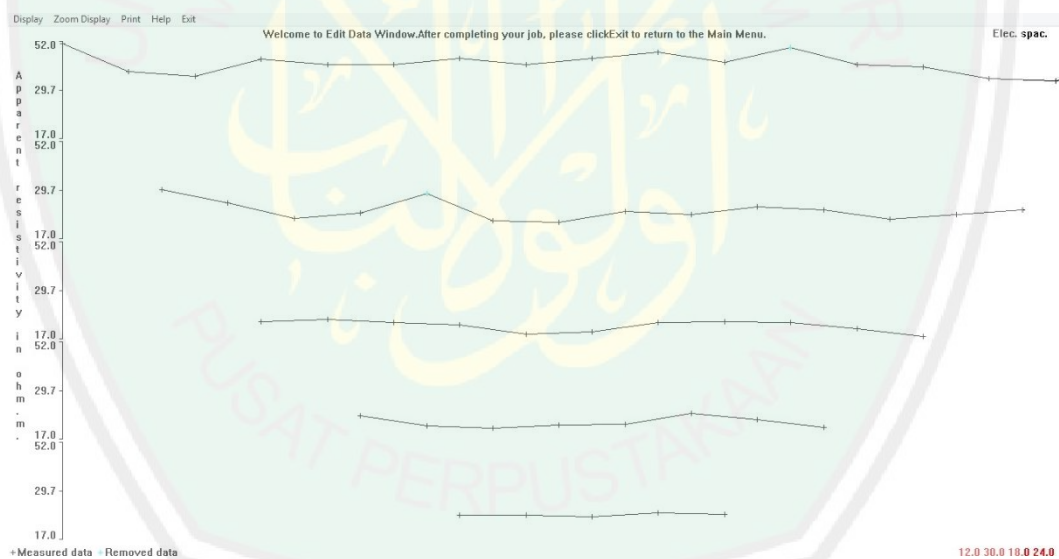
Sehingga akan muncul tampilan berikut



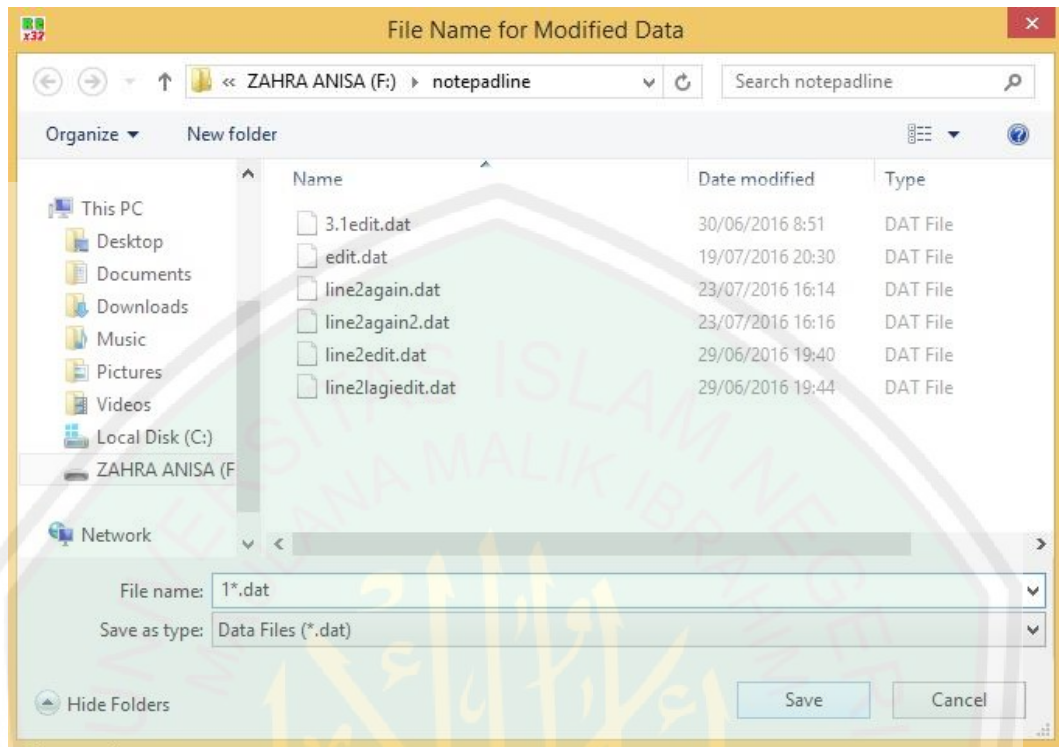
Jika dirasa error terlalu besar bisa dilakukan pengeditan dengan cara klik edit-extreminate bad data point



Setelah itu dipilih yang paling mencolok animalinya

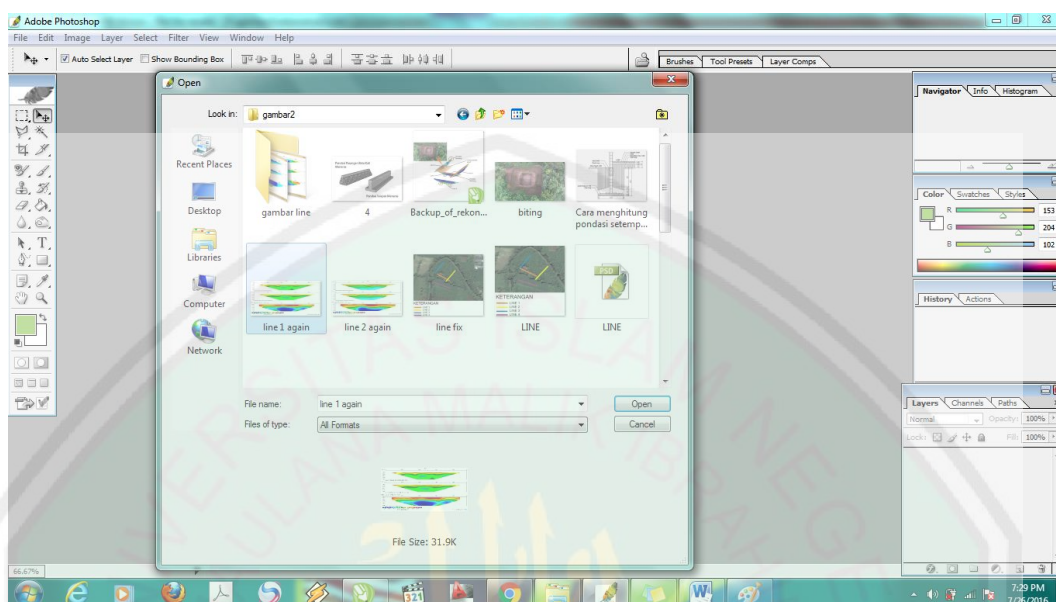


Lalu klik exit dan simpan file baru yang telah diedit

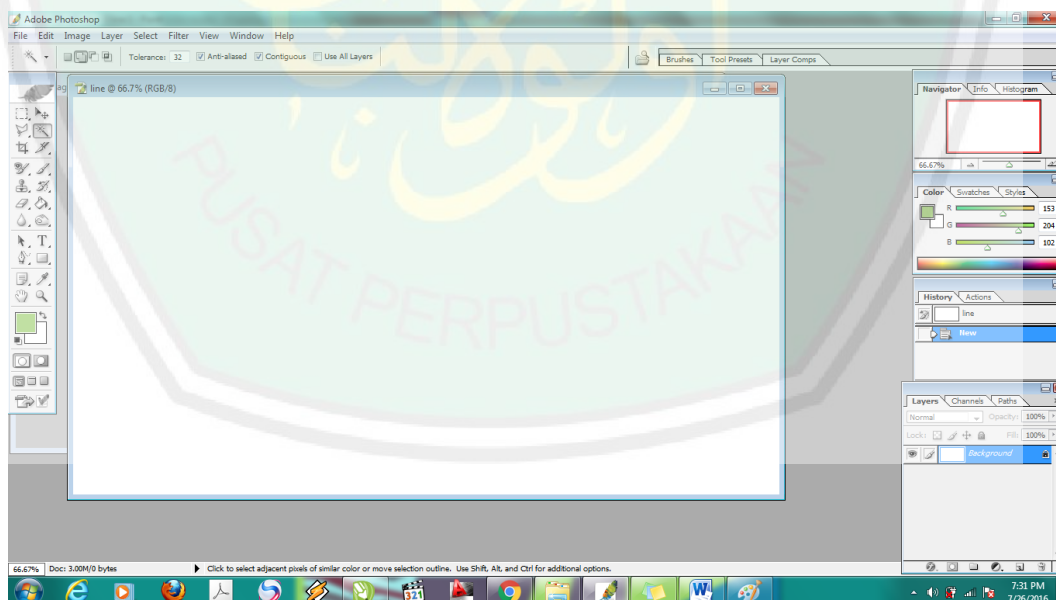


Setelah itu data yang sudah diedit di read kembali, seperti langkah pertama, sehingga akan didapatkan hasil dengan error yang lebih kecil

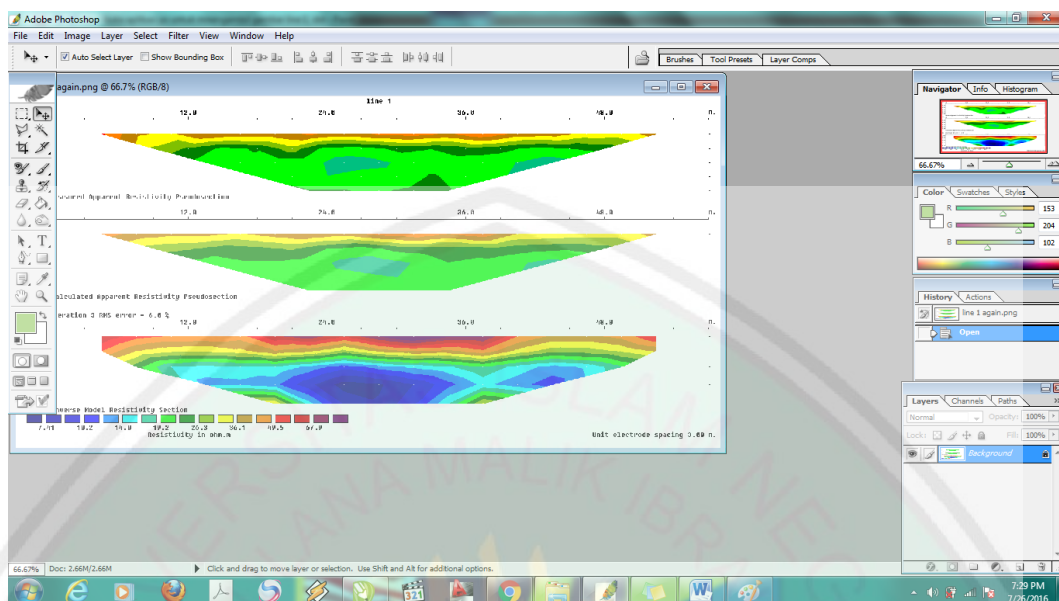
LAMPIRAN 3



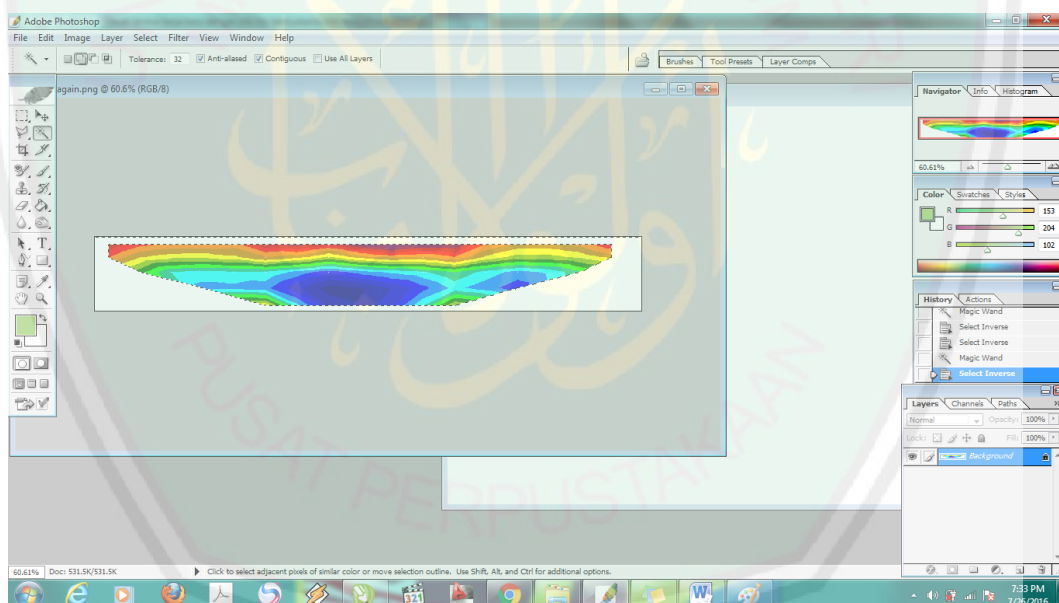
Langkah awal membuat penampang 2 dimensi menjadi 3 dimensi yaitu membuka aplikasi photoshop kemudian klik file kemudian klik open, kemudian pilih gambar line yang akan di olah.



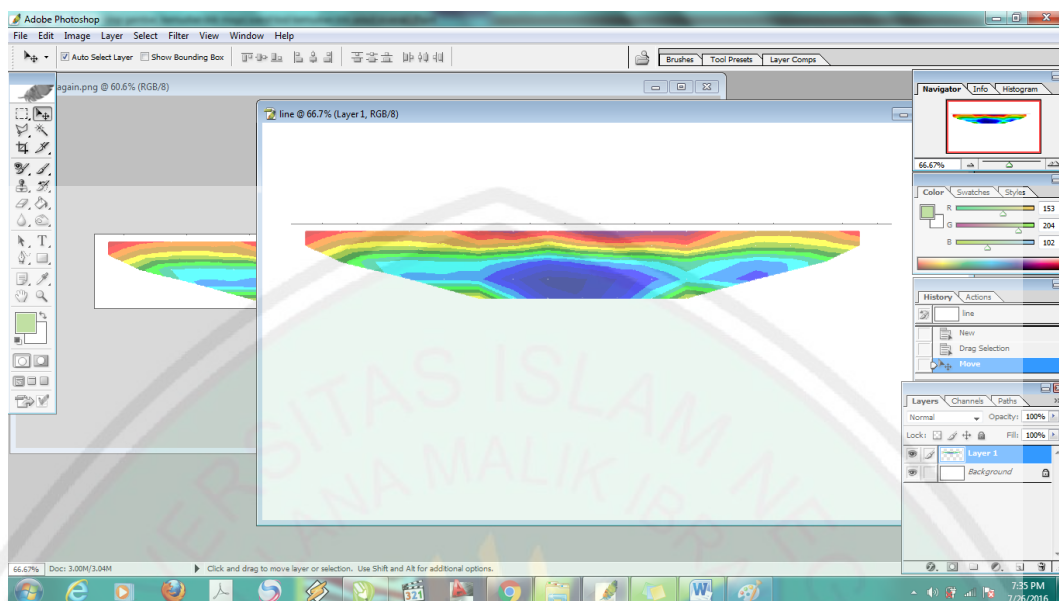
buat lembar kerja baru dengan klik file kemudian klik new



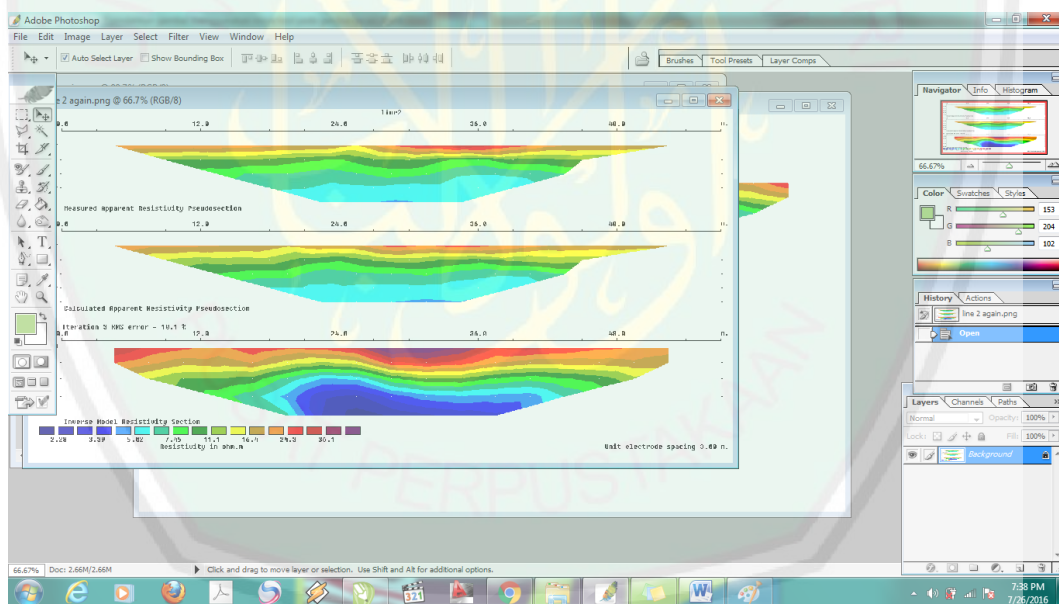
kemudian pilih gambar yang akan diolah dengan cara klik file kemudian open



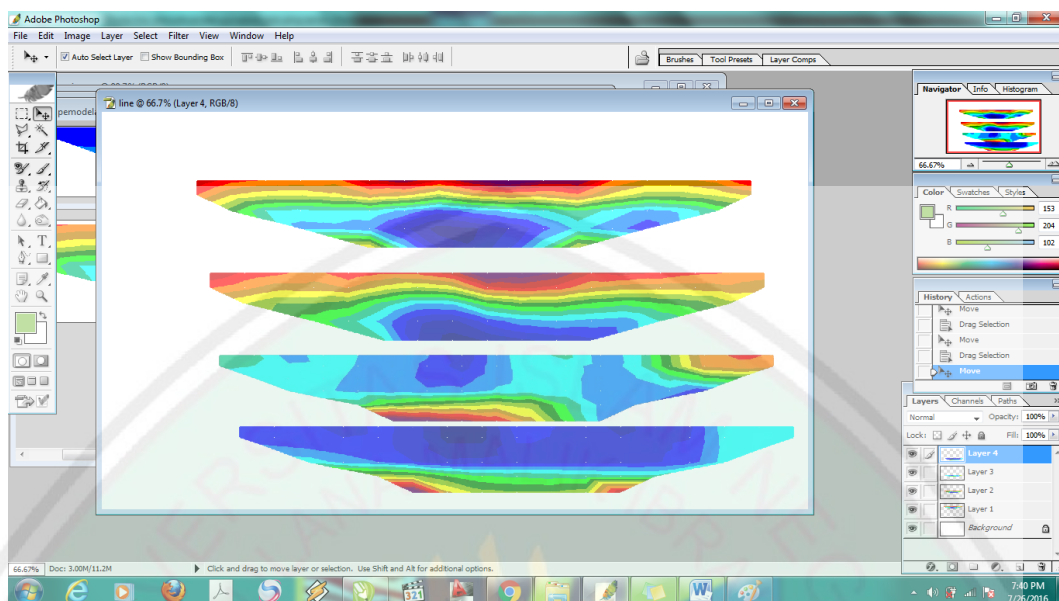
langkah selanjutnya crop gambar, kemudian klik magic wand tool kemudian klik select inverse



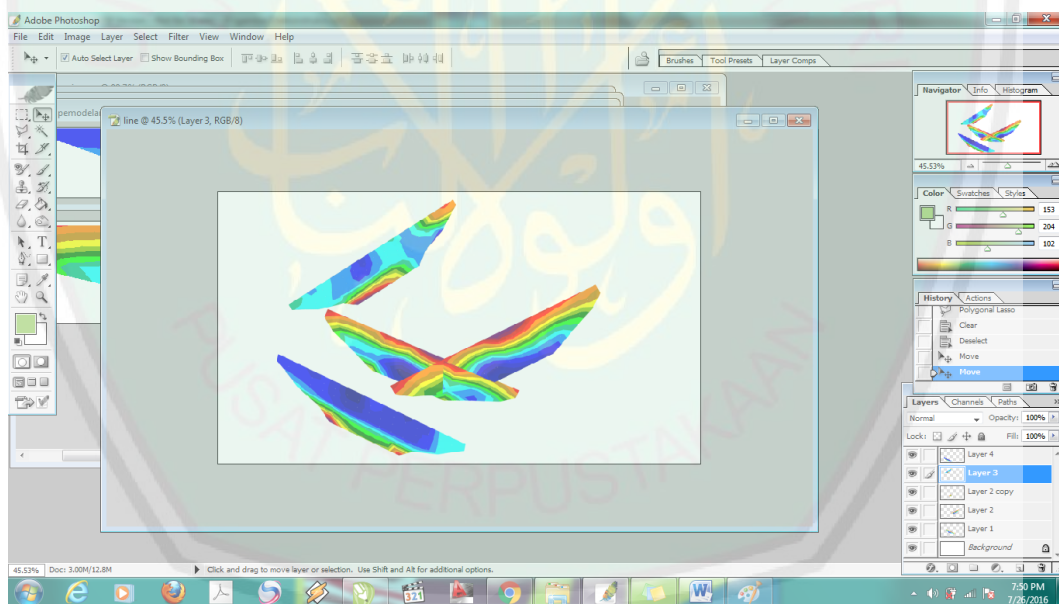
Kemudian 5 pindahkan gambar menggunakan move tool pada gambar kerja



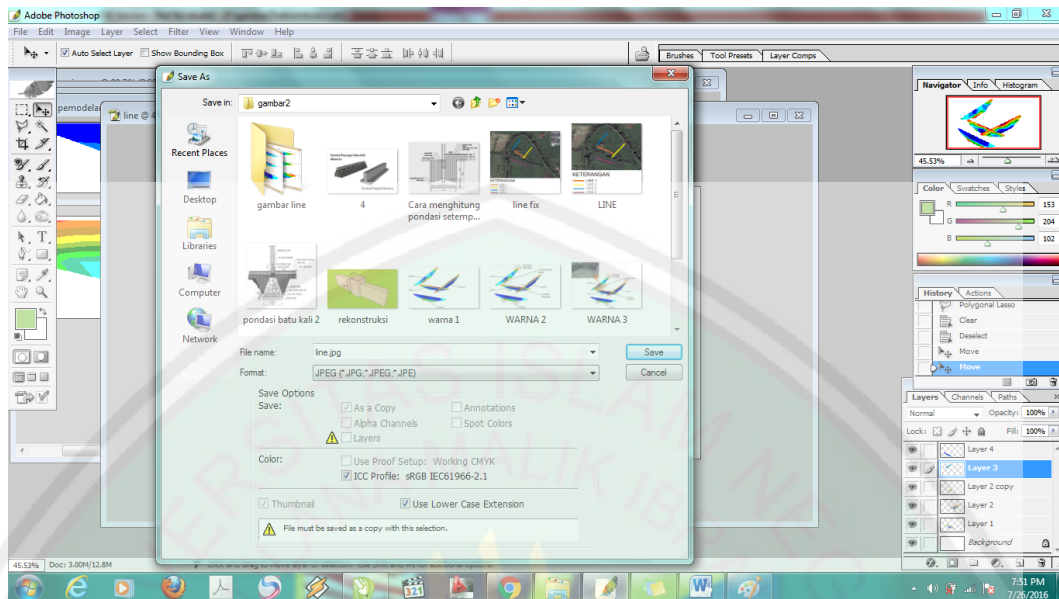
buka line selanjutnya menggunakan cara yang sama



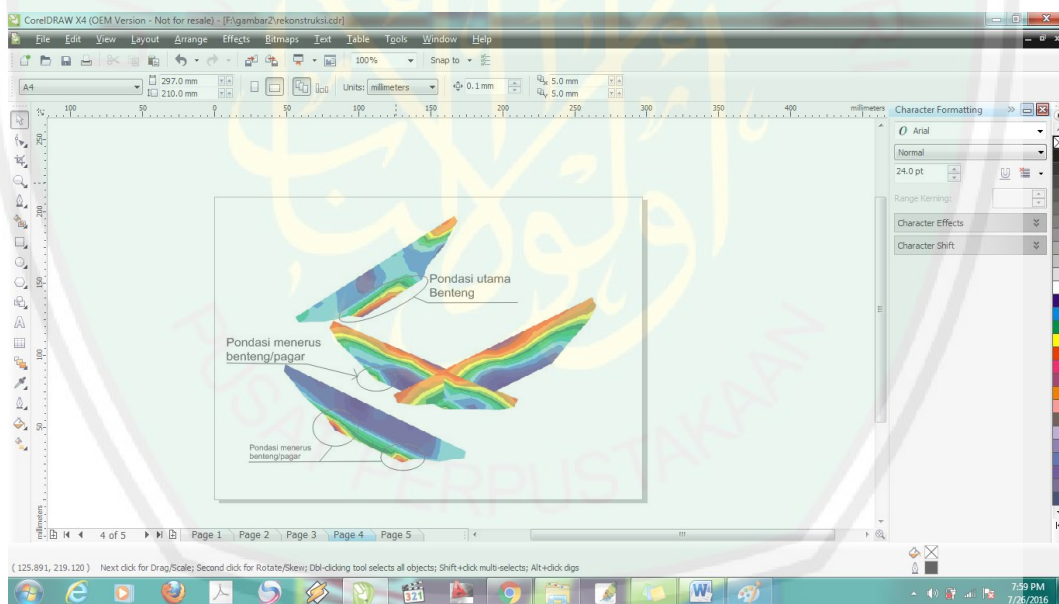
Hingga terkumpullah Line 1 sampai line 4



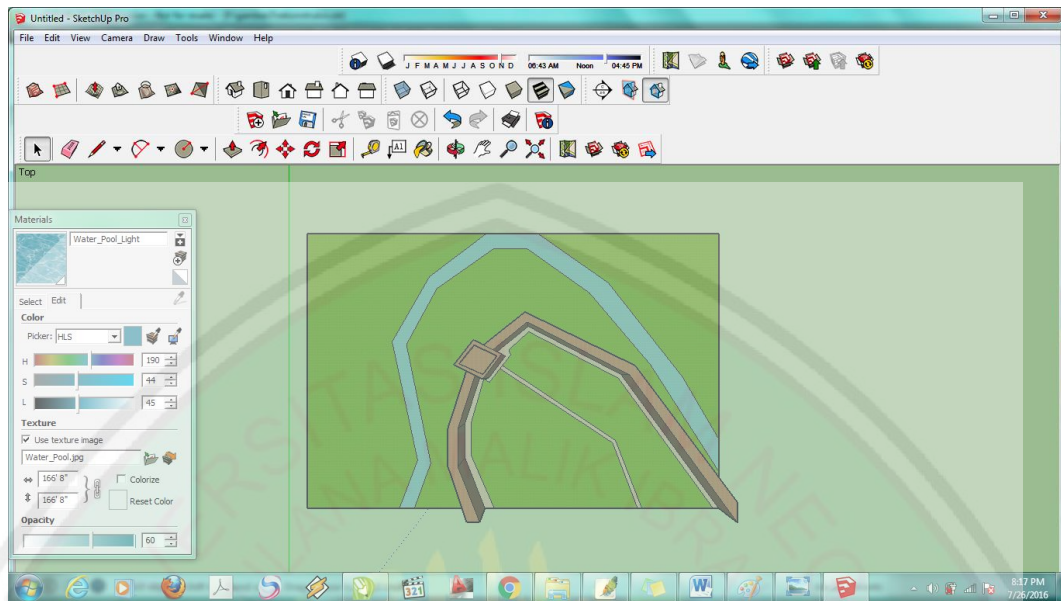
Kemudian line 1- line 4 diletakan sesuai dengan posisi yang sudah dilakukan penelitian



Kemudian simpan gambar dengan cara klik save



Kemudian buka gambar menggunakan aplikasi corel draw dan dinamai sesuai pendugaan



Kemudian membuat sketsa pendugaan bentuk pondasi menggunakan aplikasi corel draw

LAMPIRAN 4

Dokumentasi Penelitian



