

**IDENTIFIKASI KEBERADAAN BATUAN CANDI KEDULAN
MENGUNAKAN METODE RESISTIVITAS DI KOMPLEKS CANDI
KEDULAN KALASAN SLEMAN YOGYAKARTA**

SKRIPSI

Diajukan kepada Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam

Universitas Negeri Yogyakarta untuk Memenuhi

Sebagian Persyaratan guna Memperoleh

Gelar Sarjana Sains



Disusun Oleh :

WAHYU HANDOKO
11306144041

JURUSAN PENDIDIKAN FISIKA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS NEGERI YOGYAKARTA
2018

PERSETUJUAN

Skripsi yang berjudul “IDENTIFIKASI KEBERADAAN BATUAN CANDI KEDULAN MENGGUNAKAN METODE RESISTIVITAS DI KOMPLEKS CANDI KEDULAN KALASAN SLEMAN YOGYAKARTA” yang disusun oleh Wahyu Handoko, NIM 11306144041 ini telah disetujui oleh pembimbing untuk diujikan.

Skripsi ini telah disetujui Pembimbing Skripsi untuk diujikan.

Disetujui Pada Tanggal

01 Oktober 2018

Menyetujui

Dosen Pembimbing I

Dosen Pembimbing II



Nugroho Budi Wibowo, M.Si
NIP 19840223 200801 1 011






Dr. Yosaphat Sumardi
NIP 19510516 197603 1 001

HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi yang berjudul "IDENTIFIKASI KEBERADAAN BATUAN CANDI KEDULAN MENGGUNAKAN METODE RESISTIVITAS DI KOMPLEKS CANDI KEDULAN KALASAN SLEMAN YOGYAKARTA" yang disusun oleh Wahyu Handoko, NIM 11306144041 ini telah dipertahankan di depan Dewan Penguji pada tanggal 19 Oktober 2018 dan dinyatakan LULUS.

DEWAN PENGUJI

Nama	Jabatan	Tanda Tangan	Tanggal
Nugroho Budi Wibowo, M.Si	Ketua Penguji		19 Oktober 2018
Denny Darmawan, M.Sc	Penguji Utama		19 Oktober 2018
Dr.Yosaphat Sumardi	Penguji Pendamping		19 Oktober 2018

Yogyakarta, 20 Oktober 2018
Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Universitas Negeri Yogyakarta
Dekan,



Dr. Hartono

NIP. 19620329 198702 1 002

PERNYATAAN

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Wahyu Handoko

NIM : 11306144041

Program Studi : Fisika

Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam

Judul : IDENTIFIKASI KEBERADAAN BATUAN CANDI KEDULAN
MENGUNAKAN METODE RESISTIVITAS DI KOMPLEKS
CANDI KEDULAN KALASAN SLEMAN YOGYAKARTA

Dengan ini saya menyatakan bahwa skripsi ini benar-benar karya saya sendiri. Sepanjang pengetahuan saya tidak terdapat karya atau pendapat yang ditulis atau diterbitkan orang lain kecuali sebagai acuan atau kutipan dengan mengikuti tata penulisan karya ilmiah yang lazim. Jika terbukti pernyataan saya tidak benar, sepenuhnya karya tulis ini merupakan tanggung jawab saya.

Yogyakarta, 01 Oktober 2018

Yang menyatakan



Wahyu Handoko

NIM. 11306144041

MOTTO

Tidak ada kata terlambat untuk berusaha, mulailah dari hal terkecil

Ubah cara pikirmu dan kau mengubah duniamu

PERSEMBAHAN

Bismillahirrahmanirrahim

Dengan rahmat Allah yang Maha Pengasih lagi Maha Penyayang. Dengan ini kupersembahkan karya untuk kedua orang tuaku, Bapak Sukeriyono dan Ibu Siyamti yang telah membimbing, mendoakan serta memberikan dukungan moral dan materi sehingga dapat menyelesaikan bangku perkuliahan ini. Untuk adik-adikku tercinta Annisa, Diyan, Riski, dan Lintang terima kasih atas dukungan dan doanya.

Terima kasih untuk sahabatku Yoga dan Kholis yang selalu mendampingi dan memberikan dukungan selama ini.

Teman-teman grup kantin dan seluruh karyawan kantin laboratorium yang telah memberikan semangat dan motivasi.

IDENTIFIKASI KEBERADAAN BATUAN CANDI KEDULAN MENGUNAKAN METODE RESISTIVITAS DI KOMPLEKS CANDI KEDULAN KALASAN SLEMAN YOGYAKARTA

Wahyu Handoko
11306144041

ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan untuk mengidentifikasi struktur bawah permukaan Candi Kedulan yang masih terpendam dan menentukan kedalaman batu pagar candi atau batu penyusun candi induk serta nilai resistivitas batuan penyusun candi.

Penelitian ini dilakukan dengan metode resistivitas konfigurasi *dipole-dipole* di Candi Kedulan, Dusun Kedulan, Kelurahan Tirtomartani, Kecamatan Kalasan, Kabupaten Sleman dengan koordinat $7^{\circ}44'30,14''$ LS sampai $7^{\circ}44'38,79''$ LS dan $110^{\circ}28'06,96''$ BT sampai $110^{\circ}28'14,91''$ BT. Metode resistivitas didasari oleh Hukum Ohm dengan menginjeksikan arus melalui dua buah elektroda arus, maka dapat diukur beda potensial yang muncul dari elektroda potensial. Pengukuran dalam penelitian dilakukan pada empat lintasan dengan menggunakan alat *Resistivitymeter* (Naniura NRD 22 S). Lintasan 1 membentang dari utara ke selatan dan berada di sebelah selatan candi induk. Lintasan 2 membentang dari tenggara ke barat laut dan berada di sebelah barat laut candi induk. Lintasan 3 membentang dari barat ke timur dan berada di sebelah timur candi induk. Lintasan 4 membentang dari barat ke timur dan berada di sebelah tenggara candi induk.

Data pengukuran dalam penelitian ini diproses menggunakan *software Res2dinv* yang menunjukkan penampang 2D. Struktur bawah permukaan di area Candi Kedulan yang masih terpendam tersusun atas empat lapisan. Lapisan tersebut adalah batuan lempung dengan nilai resistivitas 0,09-56 Ωm , lapisan batuan lempung pasir dengan nilai resistivitas 57-170 Ωm , lapisan batuan aluvium dengan nilai resistivitas 171-711 Ωm , lapisan batuan batupasir dan pasir kasar campur kerikil dengan nilai resistivitas 712-16020 Ωm , dan lapisan batuan andesit yang diasumsikan sebagai batuan penyusun candi yang masih terpendam dengan nilai resistivitas 16030-41120 Ωm . Pada lintasan 1 dan 4 diketahui adanya batuan andesit dengan kedalaman 5-7 meter.

Kata Kunci: Metode resistivitas, konfigurasi *dipole-dipole*, Candi Kedulan.

IDENTIFICATION OF KEDULAN TEMPLE ROCKS EXISTENCE USING RESISTIVITY METHOD ON KEDULAN TEMPLE AREA, KALASAN, SLEMAN, YOGYAKARTA.

Wahyu Handoko
11306144041

ABSTRACT

This research aimed to identify the buried structure of Kedulan Temple and to determine the depth of Kedulan Temple fence rocks or main temple rocks, and then to identify the resistivity value of temple structure rocks.

The research was conducted using resistivity method with dipole-dipole configuration in Kedulan Temple, Kedulan, Tirtomartani, Kalasan, Sleman at coordinate of $7^{\circ}44'30,14''$ S to $7^{\circ}44'38,79''$ S and $110^{\circ}28'06,96''$ E to $110^{\circ}28'14,91''$ E. Resistivity method is based on Ohm law by injecting current across two current electrodes, so the potential difference on the potential electrodes could be measured. The measurement in research was conducted on four line by using resistivitymeter (Naniura NRD 22S). The first line was stretched out from north to south and located at the south from main temple. The second line was stretched out from southeast to northwest and located at the northwest from main temple. The third line was stretched out from west to east and located at the east from main temple. The fourth line was stretched out from west to east and located at the southeast from main temple.

Data of measurement in this research was processed using Res2Dinv software that showed 2D slice. The subsurfaces of Kedulan temple area were composed of four layers. They were clay with resistivity of $0.09-56 \Omega m$, sandy clay with resistivity of $57-170 \Omega m$, alluvium with resistivity of $171-711 \Omega m$, sandstone and gravelly sand with resistivity of $712-16020 \Omega m$, and andesit which is assumed as temple structure rocks with resistivity of $16030-41120 \Omega m$. At the first and fourth lines the andesit rocks were detected at 5-7 meters depth.

Keywords: Resistivity method, dipole-dipole configuration, Kedulan Temple.

KATA PENGANTAR

Assalamu'alaikum Wr. Wb,

Segala puji dan syukur kehadirat Allah SWT atas rahmat-Nya sehingga penulisan skripsi dengan judul “IDENTIFIKASI KEBERADAAN BATUAN CANDI KEDULAN MENGGUNAKAN METODE RESISTIVITAS DI KOMPLEKS CANDI KEDULAN KALASAN SLEMAN YOGYAKARTA” ini dapat terselesaikan dengan baik.

Penulisan tugas akhir ini dapat terselesaikan dengan baik tidak terlepas dari dukungan dan bantuan dari berbagai pihak. Untuk itu penulis mengucapkan terimakasih yang sebesar-besarnya kepada :

1. Bapak Dr. Hartono selaku Dekan FMIPA UNY yang telah mengesahkan skripsi ini.
2. Bapak Yusman Wiyatmo, M.Si selaku Kajurdik Fisika dan Bapak Nur Kadarisman, M.Si selaku Kaprodi Fisika FMIPA UNY yang telah membantu dalam hal administrasi skripsi ini.
3. Bapak Nugroho Budi Wibowo, M. Si. selaku pembimbing I yang telah rela meluangkan waktu di sela-sela kesibukan dan istirahat, selalu memberikan saran dan kritik, serta memberikan bimbingan dengan penuh keikhlasan sehingga skripsi ini bisa terselesaikan dengan baik.
4. Bapak Dr.Yosaphat Sumardi selaku pembimbing II yang telah ikhlas bersabar membimbing dan selalu memberikan nasehat, motivasi, referensi sehingga skripsi ini bisa terselesaikan dengan baik.
5. Bapak Denny Darmawan, M.Sc yang banyak membimbing, memberikan masukan, dan motivasi sehingga terselesaikannya skripsi ini.

6. Fathi Anindito mahasiswa Teknik Geofisika Fakultas Teknologi Mineral UPN “Veteran” Yogyakarta atas data dukung yang telah diberikan sehingga dapat membantu dalam menyelesaikan tugas akhir saya.
7. Semua Dosen Jurusan Pendidikan Fisika FMIPA UNY yang senantiasa memberikan ilmu pengetahuan yang bermanfaat.
8. Semua staff dan laboran Jurusan Pendidikan Fisika FMIPA UNY yang selalu ikhlas membantu dan menyediakan fasilitas.
9. Keluarga tercinta Bapak Sukeriyono dan Ibu Siyamti, Adek Anisa, Diyan, Riski, dan Lintang terima kasih atas semangat, doa, dukungan, dan cintanya.
10. Teman-teman Fisika E 2011 yang selalu berbagi keceriaan dan selalu memberi kritik dan saran.
11. Serta semua pihak yang tidak bisa disebutkan satu per satu.

Tidak ada yang sempurna di dunia ini, sama halnya dengan penulisan tugas akhir ini. Masih terdapat banyak kekurangan dalam karya ilmiah ini. Oleh karena itu, saran dan kritik sangat dibutuhkan dalam penyempurnaan tugas akhir ini. Semoga karya ini memberikan manfaat bagi masyarakat dan perkembangan ilmu pengetahuan. Amin.

Wassalamu’alaikum Wr.Wb,

Yogyakarta, 5 Oktober 2018

Penulis

Wahyu Handoko
11306144041

DAFTAR ISI

JUDUL	i
PERSETUJUAN	ii
PENGESAHAN	iii
PERNYATAAN	iv
MOTTO	v
PERSEMBAHAN	vi
ABSTRAK	vii
ABSTRACT	viii
KATA PENGANTAR	ix
DAFTAR ISI	xi
DAFTAR GAMBAR	xiii
DAFTAR TABEL	xiv
DAFTAR LAMPIRAN	xv
BAB I PENDAHULUAN	
A. Latar Belakang Masalah	1
B. Identifikasi Masalah	7
C. Batasan Masalah	8
D. Rumusan Masalah	8
E. Tujuan Penelitian	9
F. Manfaat Penelitian	9
BAB II DASAR TEORI	
A. Candi	10

B. Sifat Kelistrikan Batuan	13
C. Metode Geolistrik	16
D. Geologi Regional	22
E. Geologi Lokal	25
F. Klasifikasi Batuan	26
BAB III METODE PENELITIAN	
A. Waktu dan Tempat Penelitian	28
B. Peralatan Penelitian	28
C. Prosedur Penelitian	32
D. Diagram Alir Penelitian	36
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	
A. Hasil Model Penampang 2D Res2Dinv Lintasan 1	41
B. Hasil Model Penampang 2D Res2Dinv Lintasan 2	43
C. Hasil Model Penampang 2D Res2Dinv Lintasan 3	44
D. Hasil Model Penampang 2D Res2Dinv Lintasan 4	46
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	
A. Kesimpulan	50
B. Saran	51
DAFTAR PUSTAKA	52
LAMPIRAN.....	54

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.	Sumber Arus Tunggal di Permukaan Medium Homogen Isotropis	19
Gambar 2.	Skema dua elektroda arus dan potensial terletak di permukaan tanah homogen isotrop dengan tahanan jenis ρ	20
Gambar 3.	Rangkaian elektroda konfigurasi <i>dipole-dipole</i>	22
Gambar 4.	Letak Daerah Penelitian dalam Peta Geologi Lembar Yogyakarta	24
Gambar 5.	Peta distribusi endapan debu Sambisari serta Gumuk.....	26
Gambar 6.	Letak Daerah Penelitian dalam <i>Google Earth</i>	30
Gambar 7.	<i>Resistivitymeter</i> (Naniura NRD 22S) dan alat lain yang digunakan dalam penelitian.....	31
Gambar 8.	Susunan Elektroda pada Konfigurasi <i>dipole-dipole</i>	33
Gambar 9.	Diagram alir prosedur pengambilan data di lapangan konfigurasi <i>dipole-dipole</i>	34
Gambar 10.	Diagram alir penelitian	37
Gambar 11.	Model penampang 2D Res2Dinv, (a) penampang resistivitas semu, (b) penampang <i>apparent resistivity</i> dan (c) penampang <i>true resistivity</i>	40
Gambar 12.	Penampang 2D Resistivitas Batuan Lintasan 1	41
Gambar 13.	Penampang 2D Resistivitas Batuan Lintasan 2	43
Gambar 14.	Penampang 2D Resistivitas Batuan Lintasan 3	45
Gambar 15.	Penampang 2D Resistivitas Batuan Lintasan 4	46
Gambar 16.	Lapisan penimbun Candi Kedulan	49

DAFTAR TABEL

Tabel 1. Nilai resistivitas batuan.....	14
Tabel 2. Citra warna dan jenis batuan pada lintasan 1	44
Tabel 3. Citra warna dan jenis batuan pada lintasan 2.....	46
Tabel 4. Citra warna dan jenis batuan pada lintasan 3.....	47
Tabel 5. Citra warna dan jenis batuan pada lintasan 4.....	49
Tabel 6. Rentang nilai resistivitas batuan serta kedalamannya	51

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Data Hasil Pengukuran	54
Lampiran 2. Konfigurasi Elektroda	62
Lampiran 3. Pengolahan Data Geolistrik	64
Lampiran 4. Sketsa Candi Kedulan	68
Lampiran 5. Spesifikasi Naniura NRD 22S	70
Lampiran 6. Hasil Pengolahan <i>Software Res2dinv</i>	72
Lampiran 7. Dokumentasi	74

BAB I

PENDAHULUAN

A. Latar Belakang Masalah

Indonesia merupakan negara yang kaya dengan kebudayaan dan sejarah. Terdapat banyak situs sejarah yang tersebar di seluruh wilayah Indonesia dari Sabang sampai Merauke. Situs-situs sejarah yang tersebar ada berbagai macam, seperti prasasti, batu purba, goa, arca, guci, altar dan candi. Di Indonesia, bangunan candi banyak terdapat di wilayah Pulau Jawa khususnya di Daerah Istimewa Yogyakarta (DIY) dan Jawa Tengah. Candi merupakan sebuah istilah untuk menyebutkan sebuah bangunan yang berasal dari masa klasik sejarah Indonesia. Kata candi mengacu pada bentuk dan fungsi bangunan, antara lain sebagai tempat beribadah, pusat pengajaran agama, tempat menyimpan abu jenazah para raja, petirtaan (pemandian), dan gapura.

Candi adalah bangunan kuno yang dibuat dari batu dan merupakan replika tempat tinggal para dewa yaitu Gunung Mahameru dan replika Kosmos (alam semesta) dimana candi harus didirikan di lingkungan yang suci. Asal kata candi yaitu *candika graha*. *Candika* adalah nama lain dari Dewi Durga yang merupakan dewi kematian (Soekmono, 1990).

Fungsi dari candi bermacam-macam, secara umum fungsi candi tidak bisa dilepaskan dari fungsi keagamaan, khususnya agama Budha dan Hindu. Mengacu pada bentuk dan fungsi bangunan, fungsi candi antara lain sebagai tempat beribadah atau pemujaan, pusat pengajaran agama, tempat menyimpan abu

jenazah para raja, petirtaan (pemandian), dan gapura. Candi dapat berupa bangunan kuil yang berdiri sendiri atau berkelompok, dapat pula berupa bangunan berbentuk gapura beratap (Paduraksa) dan tidak beratap atau Candi Bentar (Baskoro, 2007). Banyaknya candi yang tersebar di Indonesia memiliki fungsi dan ciri khas yang berbeda-beda, hal ini terkait dengan masa kerajaan kuno yang terdapat di Indonesia dimana setiap kerajaan memiliki kepercayaan dan kebudayaan yang berbeda-beda sesuai pada zamannya.

Candi merupakan salah satu benda peninggalan sejarah yang termasuk dalam benda cagar budaya dan harus dirawat dan dilestarikan agar tidak rusak termakan waktu dan kondisi alam. Benda-benda peninggalan sejarah dilindungi dan dilestarikan oleh pemerintah melalui Direktorat Jenderal Kebudayaan (Ditjenbud) dan Direktorat Perlindungan dan Pembinaan Peninggalan Sejarah dan Purbakala (Ditlinbinjarah) sebagai benda cagar budaya. Usaha untuk menemukan situs candi terus dilakukan sebagai upaya pelestarian kebudayaan zaman kuno serta sebagai salah satu aset kekayaan bangsa akan budaya.

Sekarang ini masih banyak candi peninggalan Kerajaan Majapahit dan kerajaan lainnya yang masih terkubur dalam tanah, baik itu yang disebabkan oleh gunung meletus, maupun kejadian alam lainnya. Pemerintah Indonesia masih berusaha menggali situs-situs bersejarah ini, salah satunya melalui instansi Balai Pelestarian Peninggalan Purbakala (BP3). Di wilayah Jawa Tengah dan Yogyakarta, yang paling banyak ditemukan candi adalah di daerah Prambanan. Di daerah Prambanan dan Kalasan terdapat banyak candi dan jaraknya tidak jauh satu dengan lainnya.

Di daerah Kalasan terdapat candi yang masih dalam tahap ekskavasi sampai saat ini. Candi ini masih terus diteliti dan dicari kelengkapan bagian-bagiannya, yaitu Candi Kedulan. Candi Kedulan terletak dalam koordinat $07^{\circ}44'33,7''$ LU dan $110^{\circ}28'11,1''$ BT. Candi ini berada di Dusun Kedulan, Kelurahan Tirtomartani, Kecamatan Kalasan, tiga kilometer arah utara dari Candi Kalasan dan sekitar duapuluh kilometer dari pusat Kota Yogyakarta. Candi Kedulan pertama kali ditemukan pada tanggal 24 November 1993 dalam kondisi runtuh tertimbun material pasir dan tanah. Penemuan candi ini tidak sengaja, yaitu ketika masyarakat sedang menambang pasir di daerah tersebut. Material pasir yang menimbun candi ini diperkirakan dari hasil letusan Gunung Merapi yang terjadi dalam beberapa periode. Jarak Candi Kedulan sekitar 25 km dari puncak Gunung Merapi. Terdapat 13 lapis jenis lahar yang diketahui dari hasil pengerukan, sehingga diperkirakan lahar yang mengubur candi tersebut berasal dari 13 kali letusan. Bagian dasar candi berada pada kedalaman 7 meter (Sismanto *et al.*, 2016).

Pada kompleks Candi Kedulan terdapat 1 candi utama dan 3 candi perwara (pendamping). Candi Kedulan berdenah bujur sangkar dan memiliki panjang 13,7 meter dan tinggi 8,0 meter. Bentuk arsitektur dari Candi Kedulan mirip dengan Candi Sambisari yang berada sekitar tiga kilometer sebelah barat daya Candi Kedulan. Baik Candi Sambisari maupun Candi Kedulan merupakan candi Hindu (Anonim, 1994).

Bangunan Candi Kedulan ini berada di area persawahan milik warga masyarakat sekitar. Hingga saat ini pemugaran dan rekonstruksi terus dilakukan,

karena ada bagian-bagian yang belum ditemukan seperti pagar candi dan arca-arca. Candi Kedulan diperkirakan sebagai candi Hindu karena ditemukannya lingga dan yoni di tengah bangunan utama candi. Karakter candi Hindu adalah terdiri dari dua sampai tiga halaman bertingkat. Petunjuk pagar halaman satu sudah ditemukan di sisi utara dan selatan, sedangkan untuk halaman dua dan tiga masih diselidiki. Para ahli memperkirakan candi ini dikelilingi pagar pembatas, hal ini didasarkan pada kemiripan Candi Kedulan dengan Candi Sambisari. Pagar sisi selatan berupa dinding batu yang membentang dari timur ke barat sepanjang dua meter. Pagar luar yang ditemukan di Candi Kedulan ini terdapat juga di Candi Sambisari (Suyanto *et al.*, 2008).

Terdapat keistimewaan dari Candi Kedulan, yaitu terletak pada relief Kala. Di Jawa Tengah, relief Kala tidak mempunyai rahang bawah seperti di Jawa Timur. Namun Candi Kedulan ternyata relief Kala-nya mempunyai rahang bawah. Oleh karena itu diperkirakan Candi Kedulan dibangun pada akhir periode kerajaan Hindu Jawa Tengah yang bergeser ke Jawa Timur sekitar abad ke-8 dan ke-10.

Penelitian maupun studi telah dilakukan untuk mengetahui bentuk asli dari candi dan kelanjutan kegiatan pemugaran. Beberapa lingkup penelitian yang dilakukan antara lain arkeologi, sejarah, arsitektur, geologi, konservasi, dan teknik konstruksi. Kegiatan penggalian batuan telah dilakukan hingga diperoleh beberapa bagian batu induk candi dan batu pagar I dan II. Penelitian geologi dilakukan dengan metode pengamatan permukaan geologi, sedangkan geofisika bertujuan untuk melihat kenampakan bawah permukaan dengan metode geolistrik, geomagnet, dan elektromagnet. Hasil penelitian geolistrik yang telah dilakukan

oleh UGM pada tahun 2004 menemukan batu pagar I candi dan batu kulit candi, sedangkan hasil elektromagnetik VLF didapatkan rekaman batu pagar II candi (Sismanto, 2004). Penelitian menggunakan georadar juga pernah dilakukan untuk menentukan keberadaan pagar candi serta candi perwara yang berada di sebelah timur candi induk. Hasil olah data dari georadar didapatkan bahwa pagar candi berada pada kedalaman 7 meter di bawah permukaan tanah (Husein *et al.*, 2007). Selain itu belum ada lagi penelitian bawah permukaan yang dilakukan guna mengetahui penyebaran batu candi yang masih terpendam.

Beberapa bagian dari batu candi yang belum ditemukan adalah kelengkapan batuan candi induk, pagar II, dan pagar III yang belum lengkap. Batu-batu ini kemungkinan masih tertimbun material sekitar dan sudah tidak berada pada tempat aslinya.

Untuk mengidentifikasi struktur bawah permukaan Candi Kedulan diperlukan suatu metode geofisika. Pemanfaatan metode ini diharapkan dapat meningkatkan efektivitas dan efisiensi dalam upaya kelanjutan penggalian dan pelestarian situs candi. Metode geofisika yang diterapkan harus sesuai dengan sifat kontras fisisnya untuk mencari penyebaran batuan candi atau benda-benda peninggalan purbakala yang lain di sekitar kompleks suatu situs. Survei geofisika yang dilakukan pada umumnya setelah adanya singkapan batuan candi di permukaan.

Pengukuran metode geofisika akan baik jika terdapat kontras parameter fisis yang signifikan antara batuan target terhadap lingkungannya. Metode geomagnet dapat merespon batuan target jika terdapat kontras suseptibilitas

magnet batuan target yang cukup besar terhadap batuan penimbun, metode geolistrik akan baik jika terdapat kontras resistivitas batuan target terhadap batuan penutup, dan metode seismik dapat merespon baik jika terdapat kontras cepat rambat batuan target terhadap batuan sekitar.

Penelitian pada batuan candi menggunakan metode geolistrik akan baik karena terdapat kontras resistivitas batuan candi terhadap material penutupnya. Nilai resistivitas dari batu Candi Kedulan yang berupa batu andesit lebih besar daripada resistivitas batu sekitarnya. Metode geolistrik merupakan salah satu metode geofisika yang mempelajari sifat aliran listrik di dalam bumi (Saputro *et al.*, 2010). Hal ini meliputi pengukuran beda potensial (V) dan pengukuran arus (I) yang terjadi baik secara alamiah, disebut metode pasif maupun akibat injeksi arus listrik ke dalam bumi yang disebut metode aktif (Hendrajaya *et al.*, 1990). Metode geolistrik yang dilakukan menggunakan konfigurasi *dipole-dipole* yang memiliki keunggulan yaitu perubahan bentangannya relatif pendek.

Nilai potensial dan arus yang diperoleh dari metode geolistrik digunakan untuk menghitung nilai resistivitas. Resistivitas atau tahanan jenis suatu bahan adalah parameter yang menunjukkan tingkat hambatannya terhadap arus listrik. Nilai resistivitas yang terukur merupakan nilai resistivitas semu, karena lapisan tanah di bumi ini tidak bersifat homogen. Resistivitas semu mewakili suatu bobot rata-rata dari resistivitas sebenarnya pada suatu volume tanah yang besar. Nilai resistivitas semu suatu tipe tanah atau batuan khusus dapat meliputi suatu rentang yang luas dan nilainya bergantung pada spasi elektroda (Morais, 2008).

Kompleks situs candi umumnya tersusun atas batuan andesit, dengan ukuran elemen-elemennya bervariasi tergantung dari fungsi elemen tersebut. Rentang nilai resistivitas batuan andesit secara umum adalah $1,7 \times 10^2 \Omega\text{m} - 45 \times 10^4 \Omega\text{m}$ (Telford *et al.*, 1990). Tekstur batuan andesit terlihat dari ukuran kristal batu yang tidak sama besar, ada yang halus dan ada yang kasar, tekstur ini disebut porfiritik.

Untuk mengetahui informasi batuan penyusun Candi Kedulan, penelitian terus dilakukan. Candi Kedulan ditemukan dalam keadaan tidak utuh atau dalam keadaan berantakan, oleh karena itu perlu dilakukan penelitian mengenai identifikasi kedalaman dan struktur lapisan bawah tanah sekitar candi. Berdasarkan uraian di atas peneliti ingin mengetahui tentang struktur bawah permukaan Candi Kedulan dan nilai resistivitas batuan yang didapatkan dari metode pengukuran geolistrik pada Candi Kedulan sehingga diperoleh perkiraan letak batuan pagar candi halaman II maupun halaman III yang masih tertimbun material.

B. Identifikasi Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah disampaikan, maka dapat diidentifikasi beberapa masalah, yaitu :

1. Candi Kedulan ditemukan dalam keadaan tidak utuh atau dalam keadaan berantakan.
2. Sedikitnya penelitian yang menggunakan metode geolistrik untuk menentukan kedalaman dan struktur bawah permukaan di Candi Kedulan.

3. Bagian-bagian Candi Kedulan belum ditemukan seperti pagar candi dan kelengkapan batu candi induk.
4. Petunjuk pagar Candi Kedulan halaman satu sudah ditemukan di sisi selatan, sedangkan halaman dua dan tiga belum diketahui.

C. Batasan Masalah

Ruang lingkup masalah yang mengacu pada latar belakang dan identifikasi dapat dibatasi sebagai berikut :

1. Penelitian dilaksanakan pada sebagian dusun Kedulan, Kelurahan Tirtomartani, Kecamatan Kalasan, Kabupaten Sleman, yaitu di area Candi Kedulan dengan koordinat $7^{\circ}44'30,14''$ LS sampai $7^{\circ}44'38,79''$ LS dan $110^{\circ}28'06,96''$ BT sampai $110^{\circ}28'14,91''$ BT.
2. Desain survei yang digunakan dalam penelitian sebanyak 4 lintasan.
3. Pengolahan data dilakukan menggunakan *software* RES2DINV dengan pemodelan 2D.

D. Rumusan Masalah

Berdasarkan identifikasi masalah, dapat dirumuskan masalah sebagai berikut :

1. Bagaimana struktur bawah permukaan Candi Kedulan yang masih terpendam?
2. Berapa kedalaman batu pagar candi atau batu penyusun candi induk serta nilai resistivitas batuan penyusun Candi Kedulan yang masih terpendam?

E. Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah di atas maka tujuan penelitian ini adalah :

1. Mengidentifikasi struktur bawah permukaan Candi Kedulan yang masih terpendam.
2. Menentukan kedalaman batu pagar candi atau batu penyusun candi induk dan nilai resistivitas batuan penyusun Candi Kedulan yang masih terpendam.

F. Manfaat Penelitian

Adapun manfaat dari hasil penelitian ini adalah

1. Memberikan informasi kedalaman dan letak dari batuan penyusun Candi Kedulan yang masih terpendam.
2. Memberikan referensi mengenai keberadaan batuan pagar candi maupun batuan penyusun candi induk yang masih terpendam di kompleks Candi Kedulan.
3. Menunjukkan peranan geofisika dalam mengkaji penyebaran dan pelacakan situs purbakala.

BAB II

DASAR TEORI

A. Candi

1. Pengertian Candi

Candi merupakan sebuah bangunan tempat ibadah peninggalan purbakala yang berasal dari peradaban agama Hindu dan Budha. Kata Candi mengacu pada bentuk dan fungsi bangunan, antara lain sebagai tempat beribadah, pusat pengajaran agama, tempat menyimpan abu jenazah para raja, petirtaan (pemandian), dan gapura. Fungsi candi tidak dapat dilepaskan dari kegiatan keagamaan, khususnya agama Hindu dan Budha.

Provinsi Jawa Tengah dan Daerah Istimewa Yogyakarta (DIY) merupakan provinsi yang berbeda, namun kedua provinsi tersebut dapat dikatakan berada di bawah kekuasaan Kerajaan Mataram. Candi-candi yang berada di Jawa Tengah dan Yogyakarta merupakan candi langgam Jawa Tengah yang berasal dari sebelum tahun 1000 Masehi dan berdasarkan pengelompokannya dapat dibedakan menjadi, candi jenis Jawa Tengah Utara dan candi Jenis Jawa Tengah Selatan. Candi jenis Jawa Tengah Utara pada umumnya candi Hindu yang dibangun oleh Wangsa Sanjaya dengan bentuk bangunan yang sederhana. Bangunan dibentuk dalam kelompok namun masing-masing bangunan berdiri sendiri serta tidak beraturan letaknya. Candi yang termasuk kelompok utara, antara lain : Candi Dieng dan Candi Gedongsanga. Candi jenis Jawa Tengah Selatan, pada umumnya candi Budha dibangun oleh Wangsa Syailendra dengan bentuk bangunan indah

dan sarat dengan hiasan. Candi jenis selatan umumnya dibangun dalam pola kelompok yang sama, yaitu candi induk terletak di tengah dikelilingi oleh barisan candi perwara. Candi yang termasuk dalam kelompok ini antara lain : Candi Prambanan, Candi Mendut, Candi Kalasan, Candi Sewu dan Candi Borobudur (Soekmono, 1973).

Ciri-ciri dari candi Hindu, antara lain :

1. Pada pintu masuk candi terdapat kepala kala yang dilengkapi dengan rahang bawah.
2. Candi berbentuk ramping.
3. Biasanya berbentuk kompleks candi, candi utama berada di belakang candi perwara, contoh seperti Candi Prambanan.
4. Adanya Arca Dewi Trimurti.
5. Terdapat bentuk ratna di puncaknya.
6. Struktur candi dibagi menjadi 3 bagian bhurloka, bhuvarloka dan svarloka.
7. Umumnya adalah tempat pemakaman raja dan tempat penyembahan dewa.

Contoh candi Hindu di antaranya : Candi Prambanan, Candi Arjuna, Candi Panataran, Candi Kidal, Candi Gedong Songo, Candi Cangkuang, Candi Kedulan.

Beberapa ciri candi Budha antara lain :

1. Fungsi utamanya sebagai tempat pemujaan.
2. Struktur candi terbagi menjadi 3 yaitu kamadatu, rupadatu dan arupadatu.
3. Terdapat stupa di puncak candi.
4. Terdapat patung budha.

5. Candi utama berada di tengah candi-candi kecil seperti candi Borobudur.
6. Relief pada candi memberikan cerita tersendiri.
7. Bentuk bangunan cenderung tambun.
8. Pada pintu candi terdapat kala dengan mulut menganga tanpa rahang bawah dengan makara ganda di masing-masing sisi pintu.

Contoh candi Budha di antaranya : Candi Borobudur, Candi Kalasan, Candi Mendut, Candi Plaosan, Candi Sojiwan, Candi Sewu, Candi Sambisari (Pratama, 2015).

2. Candi Kedulan

Candi Kedulan terletak di Desa Tirtomartani, Kecamatan Kalasan, Kabupaten Sleman, Daerah Istimewa Yogyakarta, sekitar 2,5 km dari Candi Sambisari. Candi ini sedang dalam proses penggalian dan rekonstruksi, karena pada saat ditemukan, reruntuhan candi dalam keadaan tertimbun tanah yang berasal dari lahar Gunung Merapi. Para ahli memperkirakan bahwa di kompleks Candi Kedulan terdapat sebuah candi utama yang menghadap ke timur, berhadapan dengan tiga buah candi perwara yang berjajar dari utara ke selatan. Kompleks candi dikelilingi pagar pembatas, terlihat dari adanya dinding sepanjang dua meter dari timur ke barat. Perkiraan tersebut didasarkan pada kemiripan Candi Kedulan dengan Candi Sambisari yang telah selesai dipugar pada tahun 1985. Baik Candi Sambisari maupun Candi Kedulan merupakan candi Hindu. Bentuk dan ukuran candi utamanya juga tidak jauh berbeda. Di tengah bangunan utama terdapat lingga dan yoni. Perbedaan di antara keduanya hanyalah

bahwa Candi Sambisari menghadap ke barat, sementara Candi Kedulan menghadap ke timur.

B. Sifat Kelistrikan Batuan

Sifat kelistrikan batuan adalah karakteristik dari batuan jika dialirkan arus listrik ke dalamnya. Arus listrik yang mengalir pada batuan dapat berasal dari alam itu sendiri yang disebabkan oleh interaksi antar atom-atom penyusun kerak bumi akibat ketidakseimbangan muatan, atau berasal dari arus listrik yang sengaja dimasukkan ke dalamnya. Atom-atom pada batuan terikat secara ionik atau kovalen yang mengakibatkan batuan dapat menghantarkan arus listrik. Batuan di alam ini dapat dianggap sebagai medium listrik seperti pada kawat penghantar listrik, sehingga mempunyai resistivitas. Besaran resistivitas suatu batuan dideskripsikan dengan Ωm . Resistivitas batuan adalah karakteristik batuan yang menunjukkan kemampuan batuan tersebut untuk menghambat arus listrik.

Sifat dari resistivitas batuan di alam dibedakan menjadi 3 macam, yaitu:

a. Medium Konduktif

Medium yang mudah menghantarkan arus listrik. Nilai resistivitasnya sangat kecil, berkisar 10^{-8} sampai $1 \Omega\text{m}$. Contoh: logam, grafit, sulfida.

b. Medium Semikonduktif

Medium yang cukup mudah untuk menghantarkan arus listrik. Nilai resistivitasnya 1 sampai $10^7 \Omega\text{m}$. Contoh: batuan porus yang mengandung air.

c. Medium Resistif

Medium yang sukar untuk menghantarkan arus listrik. Nilai resistivitasnya sangat tinggi, lebih besar dari $10^7 \Omega\text{m}$. Batuan ini terdiri dari mineral silikat, fosfat, karbonat. Nilai resistivitas batuan ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Nilai resistivitas batuan (Telford *et al.*, 1990)

Material	Resistivity (Ohm-meter)
Udara (<i>air</i>)	0
Pirit (<i>Pyrite</i>)	0,01-100
Kwarsa (<i>Quartz</i>)	500-800000
Kalsit (<i>Calcite</i>)	$1 \times 10^{12} - 1 \times 10^{13}$
Garam Batu (<i>Rock Salt</i>)	$30-1 \times 10^{13}$
Granit (<i>Granite</i>)	200-10000
Andesit (<i>Andesite</i>)	$1,7 \times 10^2 - 45 \times 10^4$
Basal (<i>Basalt</i>)	200-100.000
Batugamping (<i>Limestones</i>)	500-10000
Batupasir (<i>Sandstone</i>)	200-8000
Batuserpih (<i>Shales</i>)	20-2000
Pasir (<i>Sand</i>)	1-1000
Lempung (<i>Clay</i>)	1-100
Air Tanah (<i>Ground water</i>)	0,5-300
Air Asin (<i>Sea water</i>)	0,2
Magnetit (<i>Magnetite</i>)	0,01-1000
Kerikil Kering (<i>Dry gravel</i>)	600-10000
Aluvium (<i>Alluvium</i>)	10-800
Kerikil (<i>Gravel</i>)	100-600

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

1. Konduksi secara elektronik

Konduksi ini terjadi jika batuan atau mineral mempunyai banyak elektron bebas sehingga arus listrik dialirkan dalam batuan atau mineral oleh elektron-elektron bebas tersebut. Aliran listrik ini juga dipengaruhi oleh sifat atau karakteristik masing-masing batuan yang disebut resistivitas. Semakin besar nilai resistivitas suatu bahan maka semakin sulit bahan tersebut menghantarkan arus listrik, begitu pula sebaliknya.

2. Konduksi secara elektrolitik

Sebagian besar batuan merupakan konduktor yang buruk dan memiliki resistivitas yang sangat tinggi. Batuan yang menjadi konduktor elektrolitik adalah batuan bersifat porus dan pori-pori tersebut terisi oleh larutan atau cairan elektrolitik (penghantar) misalnya air. Konduksi arus listrik dibawa oleh ion-ion elektrolitik dalam air. Konduktivitas dan resistivitas batuan porus bergantung pada volume dan susunan pori-porinya.

3. Konduksi secara dielektrik

Konduksi pada batuan bersifat dielektrik terhadap aliran listrik, artinya batuan tersebut mempunyai elektron bebas sedikit, bahkan tidak ada sama sekali. Elektron dalam batuan berpindah dan berkumpul terpisah dalam inti karena adanya pengaruh medan listrik di luar, sehingga terjadi polarisasi muatan.

C. Metode Geolistrik

Metode geolistrik adalah salah satu metode geofisika yang mempelajari sifat aliran listrik dalam bumi dan bagaimana mendeteksinya di permukaan bumi (Wahid, 2007). Metode ini bertujuan untuk mengukur resistivitas batuan di bawah permukaan bumi dengan cara menginjeksikan arus listrik ke dalam bumi.

Metode geolistrik dibagi menjadi dua jenis, yaitu geolistrik yang bersifat pasif dan yang bersifat aktif. Pada geolistrik pasif tidak diperlukan injeksi arus karena energi yang dibutuhkan sudah ada. Geolistrik jenis ini disebut *Self Potensial* (SP). Geolistrik yang bersifat aktif membutuhkan penginjeksian arus ke dalam bumi terlebih dahulu. Geolistrik ini terdiri atas metode resistivitas dan polarisasi terimbas *induced polarization* (Saputro *et al.*, 2010).

1. Prinsip Dasar Metode Resistivitas

Prinsip dasar metode ini adalah dengan menginjeksikan arus sebesar I melalui dua buah elektroda arus (C1 dan C2) dan mengukur nilai beda potensial ΔV melalui elektroda potensial (P1 dan P2). Sesuai dengan Hukum Ohm, arus listrik yang mengalir (I) melalui sebuah penghantar atau konduktor akan selalu berbanding lurus dengan beda potensial (V) dan berbanding terbalik dengan resistansinya (R).

Persamaan dari pernyataan Ohm dapat dituliskan sebagai berikut:

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

$$R \approx \frac{L}{A} \text{ atau } R = \rho \frac{L}{A} \quad (2)$$

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

dengan ρ adalah resistivitas (Ωm), ΔV adalah beda potensial (volt), I adalah arus

listrik (ampere), A adalah luas penampang medium (m^2) dan L adalah panjang medium (m).

Persamaan (3) digunakan untuk medium yang homogen sehingga akan terukur nilai resistivitas yang sesungguhnya (*true resistivity*) sedangkan untuk medium yang tidak homogen akan terukur nilai resistivitas semu (*apparent resistivity*). Pada pengukuran di lapangan, nilai resistivitas semu tergantung pada tahanan jenis lapisan-lapisan batuan yang terukur dan metode pengukuran (konfigurasi elektroda). Batuan penyusun di dalam bumi yang berfungsi sebagai resistor dapat diukur nilai tahanan jenisnya secara sederhana dengan mengasumsikan bahwa mediumnya merupakan medium yang homogen isotrop (Santoso, 2002).

Apabila pada medium homogen isotrop dialiri arus searah (I) dengan medan listrik (E), maka elemen arus (dI) yang melalui suatu elemen luasan (dA) dengan rapat arus (J) akan berlaku hubungan:

$$dI = \vec{J} \cdot d\vec{A} \quad (4)$$

Menurut Hukum Ohm, hubungan rapat arus (J) (ampere/meter²) dengan medan listrik (E) (volt/meter) yang ditimbulkannya dirumuskan sebagai:

$$\vec{J} = \sigma \vec{E} \quad (5)$$

dimana σ adalah konduktivitas (mho/m) yang berbanding terbalik dengan resistivitas ρ (Ωm). Dalam bentuk yang lain, Persamaan (5) dapat dituliskan sebagai:

$$\vec{E} = \rho \vec{J} \quad (6)$$

Jika medan listrik merupakan gradien potensial (V) maka

$$\vec{E} = -\nabla V \quad (7)$$

$$\vec{J} = -\sigma \nabla V \quad (8)$$

2. Potensial pada Bumi Homogen Isotrop

Lapisan bumi yang bersifat homogen isotrop merupakan pendekatan sederhana dalam penentuan tahanan jenis lapisan-lapisan batuan bumi, sehingga tahanan jenis dianggap tidak bergantung pada sumbu koordinat dan tahanan jenis merupakan fungsi skalar jarak titik pengamatan (Syamsudin, 2007). Arus tunggal menyebabkan timbulnya distribusi potensial. Arus yang mengalir dalam bumi homogen isotrop didasarkan pada hukum kekekalan muatan yang dituliskan sebagai

$$\nabla \cdot \vec{J} = -\frac{dq}{dt} \quad (9)$$

dengan, \vec{J} = rapat arus (A/m^2) dan q = rapat muatan (C/m^3)

Jika arus bersifat stasioner, maka Persamaan (9) menjadi:

$$\nabla \cdot \vec{J} = 0 \quad (10)$$

Akibatnya,

$$\nabla \cdot \vec{J} = -\nabla \cdot (\sigma \nabla V) = 0 \quad (11)$$

$$\nabla \sigma \cdot \nabla V + \sigma \nabla^2 V = 0 \quad (12)$$

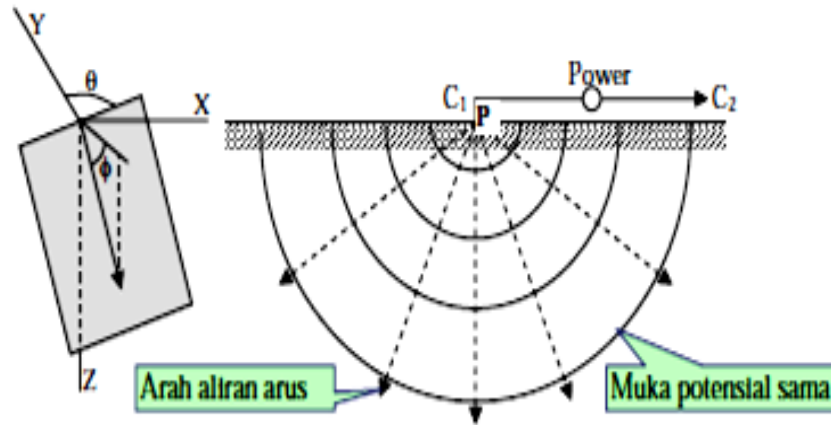
Jika konduktivitas listrik medium (σ) konstan, maka suku pertama pada bagian kiri persamaan (12) bernilai nol sehingga diperoleh persamaan *Laplace*:

$$\nabla^2 V = 0 \quad (13)$$

3. Potensial Elektroda Arus Tunggal pada Permukaan Medium Isotropis

Model bumi yang berbentuk setengah bola homogen isotrop memiliki konduktifitas udara mendekati nol. Dengan demikian, arus (I) yang dialirkan

melalui sebuah elektroda pada titik P di permukaan akan tersebar ke semua arah dengan sama besar yang ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Sumber Arus Tunggal di Permukaan Medium Homogen Isotropis (Syamsudin, 2007)

Pada model bumi yang berbentuk setengah bola homogen isotrop seperti pada Gambar 1 digunakan persamaan *Laplace* yang berhubungan dengan sistem koordinat bola, yaitu

$$\frac{1}{r^2} \frac{\partial}{\partial r} \left(r^2 \frac{\partial V}{\partial r} \right) + \frac{1}{r^2} \frac{1}{\sin \theta} \frac{\partial}{\partial \theta} \left(\sin \theta \frac{\partial V}{\partial \theta} \right) + \frac{1}{r^2 \sin^2 \theta} \frac{\partial^2 V}{\partial \phi^2} = 0 \quad (14)$$

Karena aliran arus listrik simetris terhadap θ pada arus tunggal, maka persamaan (14) menjadi

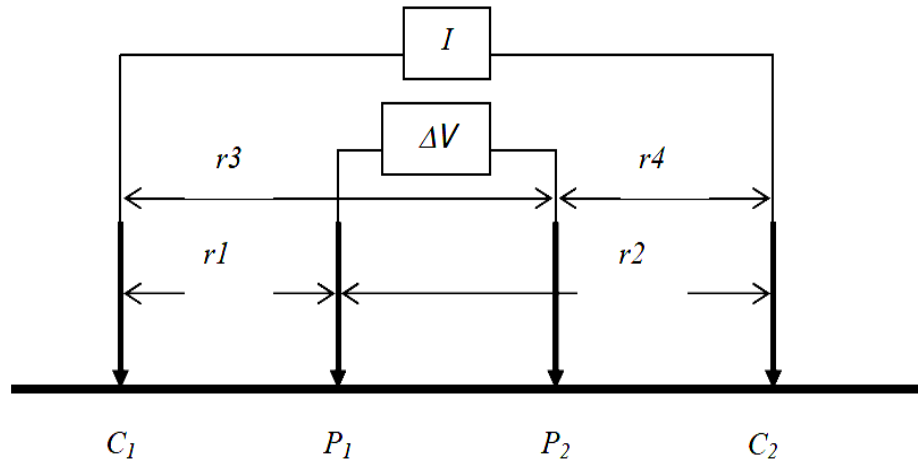
$$\frac{d^2 V}{dr^2} + \frac{2}{r} \frac{dV}{dr} = 0 \quad (15)$$

Dengan demikian potensial di setiap titik yang berhubungan dengan sumber arus pada permukaan bumi yang homogen isotrop adalah

$$V = \frac{1}{r} \frac{I\rho}{2\pi} \text{ atau } \rho = 2\pi r \frac{V}{I} \quad (16)$$

4. Potensial Dua Elektroda Arus pada Permukaan Homogen Isotrop

Pada pengukuran geolistrik tahanan jenis, umumnya digunakan dua buah elektroda arus (C1C2) dan dua buah elektroda potensial (P1P2). Besarnya potensial akan dipengaruhi oleh kedua elektroda tersebut.



Gambar 2. Skema dua elektroda arus dan potensial yang terletak di permukaan tanah homogen isotrop dengan tahanan jenis ρ (Telford *et al.*, 1990)

Berdasarkan Gambar 2, potensial yang terjadi pada P1 akibat adanya C1 adalah

$$V_1 = -\frac{A_1}{r_1}; \text{ dengan } A_1 = -\frac{I\rho}{2\pi} \quad (17.1)$$

Potensial yang terjadi pada P1 akibat adanya C2 adalah

$$V_2 = -\frac{A_2}{r_2}; \text{ dengan } A_2 = +\frac{I\rho}{2\pi} = -A_1 \quad (17.2)$$

Jika arus pada kedua elektroda tersebut sama tetapi arahnya berlawanan, maka potensial di titik P1 adalah

$$V_{p1} = V_1 + V_2 = \frac{I\rho}{2\pi} \left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} \right) \quad (18)$$

Beda potensial di titik P2 (menggunakan cara yang sama) adalah

$$V_{p2} = V_3 + V_4 = \frac{I\rho}{2\pi} \left(\frac{1}{r_3} - \frac{1}{r_4} \right) \quad (19)$$

Dengan demikian beda potensial antara titik $P1$ dan $P2$

$$\Delta V = V_{p1} - V_{p2} = \frac{\rho}{2\pi} \left[\left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} \right) - \left(\frac{1}{r_3} - \frac{1}{r_4} \right) \right] \quad (20)$$

Hubungan antara beda potensial dan tahanan jenis seperti pada persamaan (20)

dapat ditulis sebagai

$$\rho = 2\pi \frac{\Delta V}{I} \frac{1}{\left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} \right) - \left(\frac{1}{r_3} - \frac{1}{r_4} \right)} = k \frac{\Delta V}{I} \quad (21)$$

dengan

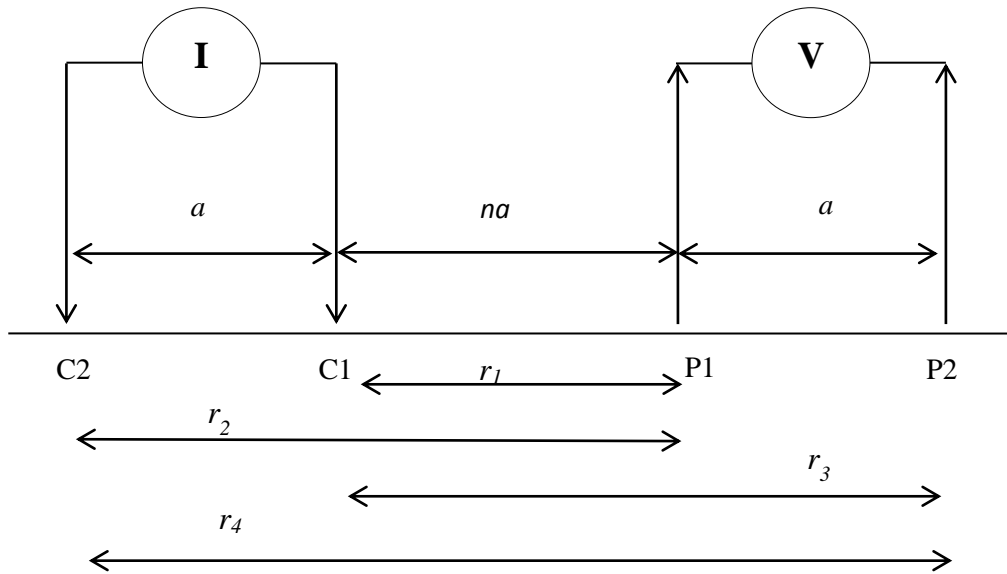
$$k = \frac{2\pi}{\left[\left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} \right) - \left(\frac{1}{r_3} - \frac{1}{r_4} \right) \right]} \quad (22)$$

Besaran k adalah faktor geometri yang bergantung pada susunan elektroda, r_1 adalah jarak C1P1, r_2 adalah jarak C2P1, r_3 adalah jarak C1P2, r_4 adalah jarak C2P2.

Persamaan (21) memberikan hubungan antara ρ dan $(\Delta V/I)$. Faktor yang menghubungkan antara keduanya mempunyai nilai yang hanya tergantung dari konfigurasi atau geometri dari elektroda-elektroda arus dan tegangan. Oleh karena itu faktor tersebut disebut faktor geometri.

5. Konfigurasi *Dipole-dipole*

Metode geolistrik memiliki beberapa konfigurasi seperti *Schlumberger*, *Wenner*, *Pole-Pole*, *Pole-Dipole*, dan *Dipole-Dipole*. Konfigurasi ini memiliki nilai k (faktor geometri) yang berbeda-beda. Adapun susunan elektroda untuk metode *Dipole-Dipole* yaitu antara elektroda arus dan potensial ditunjukkan pada Gambar 3.



Gambar 3. Rangkaian elektroda konfigurasi *dipole-dipole* (Darsono *et al.*, 2012)

Pada Gambar 3, r_1 adalah C1P1 atau sebesar na , r_2 adalah C2P1 atau sebesar $na+a$, r_3 adalah C1P2 atau sebesar $na+a$, dan r_4 adalah C2P2 atau sebesar $na+2a$.

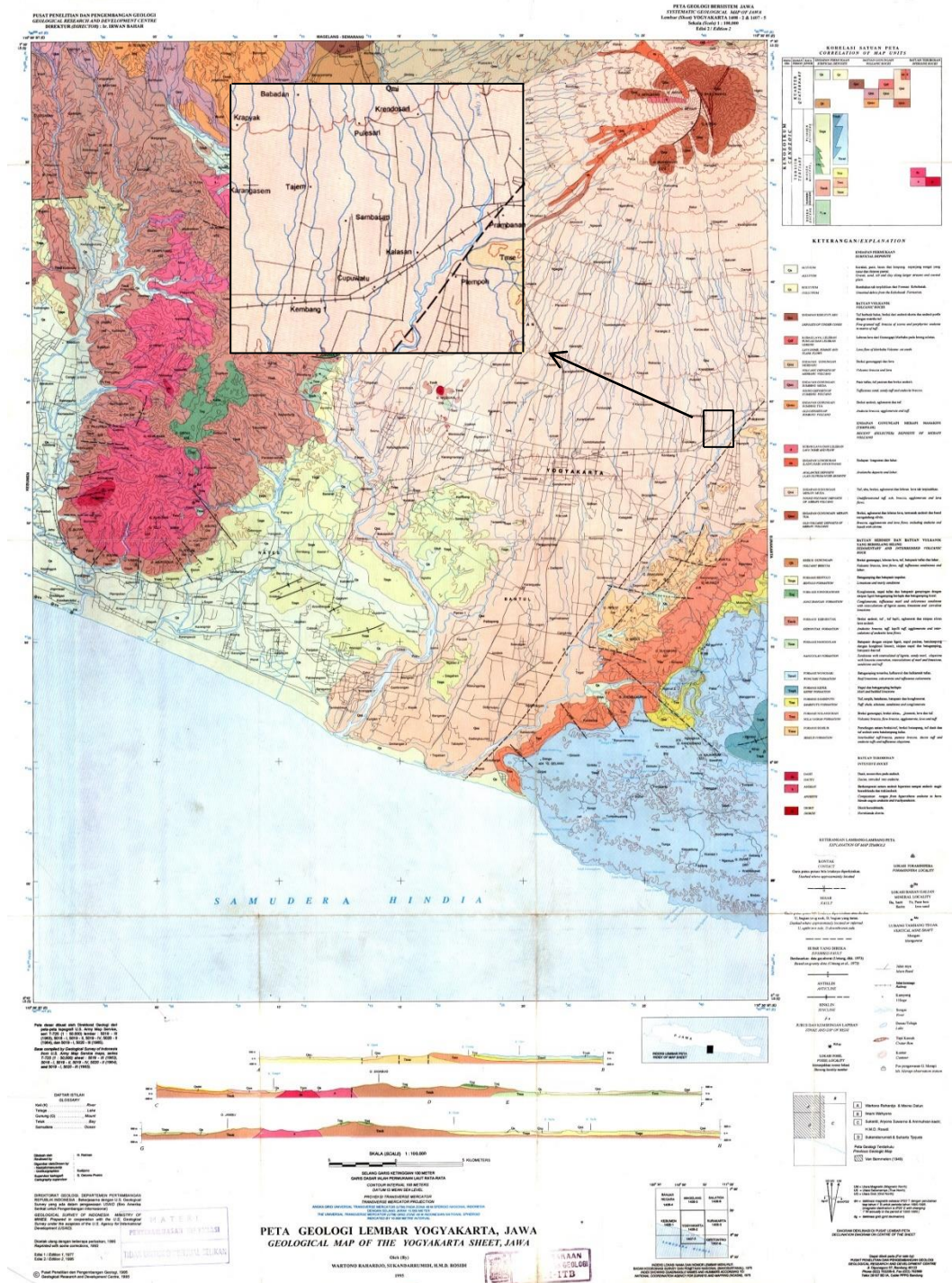
Berdasarkan persamaan (22) diperoleh faktor geometri dengan nilai k :

$$k = \pi a n (n + 2)(n + 1) \quad (23)$$

D. Geologi Regional

Yogyakarta terbentuk akibat pengangkatan Pegunungan Selatan dan Pegunungan Kulonprogo pada kala Plistosen awal (0,01-0,7 juta tahun). Setelah pengangkatan Pegunungan Selatan, terjadi genangan air (danau) di sepanjang kaki pegunungan. Hal ini berkaitan dengan tertutupnya aliran air permukaan di sepanjang kaki pegunungan sehingga terkumpul dalam cekungan yang lebih rendah.

Berthommier (1990) menentukan aktivitas Gunung Merapi telah berlangsung sejak 0,67 juta tahun lalu. Hipotesisnya adalah tinggian di sebelah selatan, barat daya, barat dan utara Yogyakarta telah membentuk genangan sepanjang kaki gunung api yang berbatasan dengan Pegunungan Selatan Kulonprogo. Pengangkatan Pegunungan Selatan pada kala Plistosen Awal, telah membentuk cekungan Yogyakarta. Di dalam cekungan tersebut selanjutnya berkembang aktivitas gunung api (Gunung Merapi). Aktivitas Gunung Merapi telah berlangsung ± 42.000 tahun yang lalu berdasarkan data umur penarikan ^{14}C pada endapan yang tersingkap di Cepogo. Sedangkan berdasarkan data penarikan K/Ar pada lava di Gunung Bibi, aktivitas gunung api tersebut telah berlangsung sejak 0,67 juta tahun lalu. Tinggian di sebelah selatan dan kemunculan kubah Gunung Merapi di sebelah utara, telah membentuk sebuah lembah datar. Bagian selatan lembah tersebut berbatasan dengan Pegunungan Selatan, dan bagian baratnya berbatasan dengan Pegunungan Kulonprogo. Daerah lembah tersebut tersingkap endapan lempung hitam. Lempung hitam tersebut merupakan batas kontak antara batuan dasar dan endapan Gunung Merapi. Secara geografis, sebagian besar wilayah Daerah Istimewa Yogyakarta merupakan endapan Merapi. Peta geologi Daerah Istimewa Yogyakarta ditunjukkan pada Gambar 4.

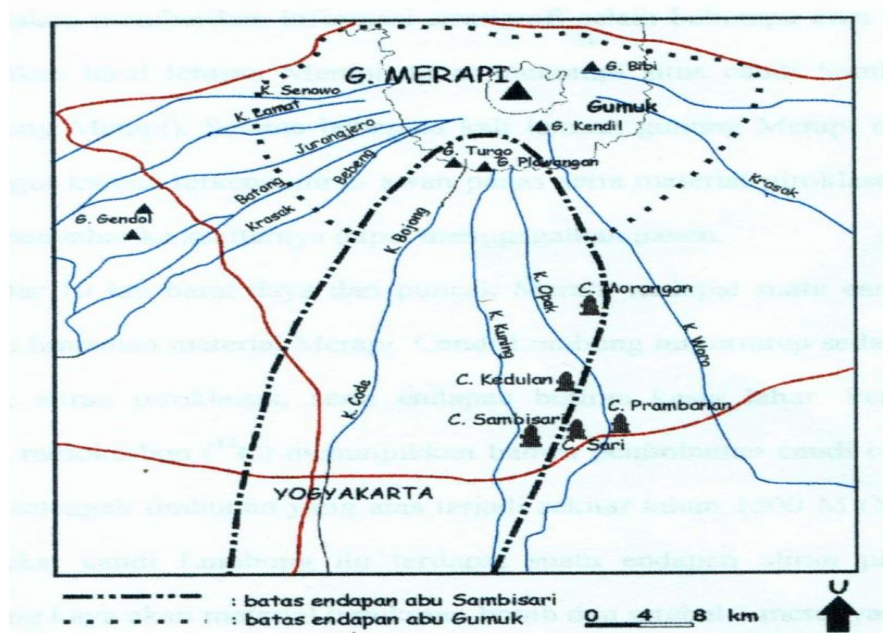


Gambar 4. Letak Daerah Penelitian dalam Peta Geologi Lembar Yogyakarta (Rahardjo *et al.*, 1995)

E. Geologi Lokal

Kalasan adalah sebuah kecamatan di Kabupaten Sleman, Provinsi Daerah Istimewa Yogyakarta. Kecamatan Kalasan berada di sebelah timur laut dari ibukota Kabupaten Sleman. Kecamatan Kalasan mempunyai luas wilayah 3.579,05 Ha. Kecamatan Kalasan berada di dataran rendah. Ibukota kecamatannya berada pada ketinggian 144 meter di atas permukaan laut. Kecamatan Kalasan beriklim seperti layaknya daerah dataran rendah di daerah tropis. Tanah di Kecamatan Kalasan berupa tanah yang datar sampai berombak.

Daerah Kabupaten Sleman merupakan daerah dataran, perbukitan dan kaki gunung api. Daerah dataran dibentuk oleh endapan aluvial dan batuan Gunung api Merapi yang berupa lempung, lanau, dan pasir. Daerah perbukitan membentuk deretan perbukitan memanjang dari barat ke timur, dibentuk oleh satuan batuan dari Formasi Sentolo (Tmps), Formasi Nanggulan (Teon), Formasi Wonosari (Tmw), Formasi Oyo (Tmo), Formasi Sambipitu (Tms), Formasi Nglanggran (Tmn), dan Formasi Semilir (Tmse). Daerah kaki gunung dibentuk oleh endapan vulkanik Gunung Merapi (Qvm). Endapan vulkanik Gunung Merapi merupakan material piroklastik yang terdiri dari berbagai macam jenis yakni *block* yang berukuran besar, *tephra*, *lapilli*, dan debu. Sebaran endapan debu vulkanik Merapi berarah ke selatan dan konstan. Kecamatan Kalasan termasuk didalamnya lokasi Candi Kedulan masuk dalam area material Sambisari *ashes*, dapat dilihat pada Gambar 5.



Gambar 5. Peta distribusi endapan debu Sambisari serta Gumuk (Camus *et al.*, 2000)

Sungai-sungai yang mengalir umumnya bersifat permanen (mengalir sepanjang tahun), antara lain Sungai Opak, Sungai Oyo, Sungai Bedog, Sungai Dengkeng, Sungai Gondang. Air tanah di daerah penelitian berupa air permukaan dan air tanah bebas. Air permukaan berupa air sungai dan air genangan (air rawa), sedangkan air tanah bebas merupakan air yang tersimpan dalam suatu lapisan pembawa air tanpa lapisan kedap air di bagian atasnya.

F. Klasifikasi Batuan

Batuan dapat dibagi menjadi tiga, yaitu batuan beku (*Igneous Rocks*), batuan sedimen dan batuan metamorf (Nandi, 2010).

1. Batuan Beku (*Igneous Rocks*)

Batuan beku terbentuk akibat pembekuan magma pada permukaan bumi.

Berdasarkan letak kejadiannya, batuan beku dibagi menjadi 2 yaitu:

a. Batuan Beku Intrusif

Batuan beku ini terbagi menjadi:

- 1) Batuan beku dalam (plutonik), terjadi sebagai akibat pembekuan magma yang jauh di dalam bumi. Contoh: granit, diorit dan gabbro.
- 2) Batuan beku porfir, terbentuk di sekitar pipa magma atau kawah. Contoh: granit, andesit porfir, diorit porfir.
- 3) Batuan beku afanitik, dengan tekstur kristal halus. Contoh andesit, dasit.

b. Batuan Beku Ekstrusif

Terbentuk akibat magma yang mengalir ke permukaan bumi kemudian mendingin dan membeku dengan cepat, dicirikan dengan komposisi kristal yang sangat halus. Contoh: obsidian, batu apung, basal.

2. Batuan Sedimen

Batuan sedimen terbentuk akibat pengendapan material yang berasal dari pecahan, bongkahan batuan yang hancur karena proses lapau kemudian terbawa oleh suatu media seperti air maupun angin dan terakumulasi dalam satu tempat. Contoh : breksi, batupasir, batugamping, lempung.

3. Batuan Metamorf

Batuan metamorf atau malihan berasal dari batuan beku atau sedimen yang termalihkan di dalam bumi sebagai akibat tekanan dan suhu yang sangat tinggi yang mengakibatkan perubahan sifat fisik dan kimia dari batuan asal. Contoh: marmer malihan dari batu gamping, kuarsit malihan dari batu pasir kuarsa.

BAB III

METODE PENELITIAN

A. Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan pada tanggal 8 Mei 2015, mulai dari pukul 09.00 WIB sampai dengan pukul 15.00 WIB. Penelitian dilakukan di Candi Kedulan yang terletak di Dusun Kedulan, Desa Tirtomartani, Kecamatan Kalasan, Kabupaten Sleman, Daerah Istimewa Yogyakarta. Candi Kedulan sedang dalam proses penggalian dan rekonstruksi, karena saat ditemukan reruntuhan candi dalam keadaan tertimbun tanah yang berasal dari aktivitas Gunung Merapi. Secara geografis daerah penelitian dibatasi pada $7^{\circ}44'30,14''$ LS sampai $7^{\circ}44'38,79''$ LS dan $110^{\circ}28'06,96''$ BT sampai $110^{\circ}28'14,91''$ BT. Batas wilayah penelitian meliputi : sebelah utara berbatasan dengan Dusun Ringinsari, di sebelah barat berbatasan dengan Dusun Pundong, di sebelah timur berbatasan dengan Dusun Jongkangan dan sebelah selatan berbatasan dengan Dusun Plasan. Batasan area pengambilan data ditunjukkan pada Gambar 6. Daerah pengambilan data dalam penelitian ini termasuk dalam formasi endapan Gunung api Merapi muda yang terdiri dari tuf, abu, breksi, aglomerat, dan leleran lava tak terpisahkan.

B. Peralatan Penelitian

Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini terdiri dari perangkat lunak dan perangkat keras, seperti ditunjukkan pada Gambar 7.

1. Perangkat Keras

Perangkat keras yang digunakan dalam penelitian adalah sebagai berikut.

- a. *Resistivitymeter* (Naniura NRD 22S) untuk memberikan nilai beda potensial (ΔV) dan arus (I).
- b. Dua buah elektroda arus untuk menyalurkan arus ke dalam permukaan tanah.
- c. Dua buah elektroda potensial untuk menerima tegangan yang terukur.
- d. Enam buah kabel penjepit.
- e. Dua gulung kabel arus, masing-masing sepanjang 100 meter.
- f. Dua gulung kabel potensial, masing-masing sepanjang 100 meter.
- g. Palu berfungsi untuk menancapkan elektroda.
- h. Meteran sepanjang 100 meter untuk mengukur jarak elektroda.
- i. GPS untuk menentukan posisi.
- j. *Accu* sebagai sumber arus *resistivitymeter*.
- k. Payung melindungi *resistivitymeter* dari sinar matahari dan air hujan.
- l. Alat komunikasi *Handy Talk* (HT) membantu komunikasi pada saat pengambilan data di lapangan.
- m. Kamera untuk dokumentasi di lokasi penelitian.
- n. *Log book* untuk mencatat hasil pengambilan data.
- o. Peta Geologi

2. Perangkat Lunak

Perangkat lunak yang digunakan dalam penelitian merupakan perangkat yang berhubungan dengan penggunaan komputer. Perangkat yang digunakan sebagai berikut.

- a. Res2Dinv untuk menampilkan gambar penampang bawah permukaan.
- b. Notepad untuk input data yang nantinya digunakan di *software* Res2Dinv.
- c. Microsoft Word berfungsi sebagai media dalam penulisan laporan penelitian.
- d. Microsoft Excel berfungsi untuk menginput dan menghitung data yang dihasilkan.
- e. Google Earth mengetahui letak dan topografi daerah penelitian.
- f. Surfer 10 digunakan untuk membuat kontur dari hasil pengolahan data.
- g. Global Mapper untuk pemetaan batas-batas daerah penelitian.



Gambar 6. Letak Daerah Penelitian dalam *Google Earth*



(a) *Resistivitymeter*
(Naniura NRD 22S)



(b) *Accu*



(c) *Elektroda*



(d) *Gulungan kabel*



(e) *Palu*



(f) *Meteran*

Gambar 7. *Resistivitymeter* (Naniura NRD 22S) dan alat lain yang digunakan dalam penelitian.

C. Prosedur Penelitian

Penelitian ini dilakukan dalam beberapa tahapan, yaitu pra penelitian, pengambilan data geolistrik, pengolahan data dan interpretasi data.

1. Pra Penelitian

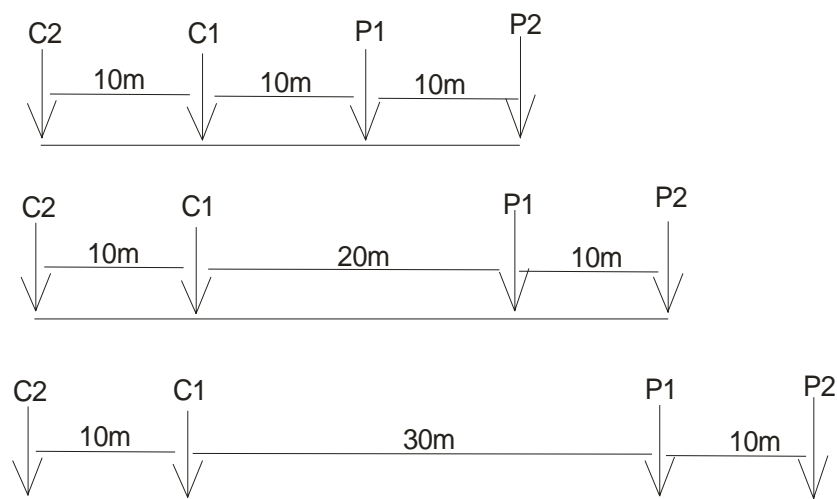
Kondisi geologi regional dan lokal daerah penelitian didominasi oleh formasi endapan Gunung api Merapi muda yang terdiri dari tuf, abu, breksi, aglomerat, dan leleran lava tak terpisahkan. Dimungkinkan batuan Candi Kedulan yang akan dijadikan objek penelitian tertimbun endapan Gunung api Merapi muda.

Dengan demikian diperlukan studi literatur tentang teori-teori yang berhubungan dengan jenis batuan candi dan formasi endapan yang ada pada daerah tersebut, baik berupa buku ataupun jurnal ilmiah. Kegiatan yang dilakukan selain studi literatur yaitu pengamatan langsung kondisi geologi setempat agar mengetahui gambaran lokasi penelitian dan mengurus surat izin penelitian di daerah tersebut.

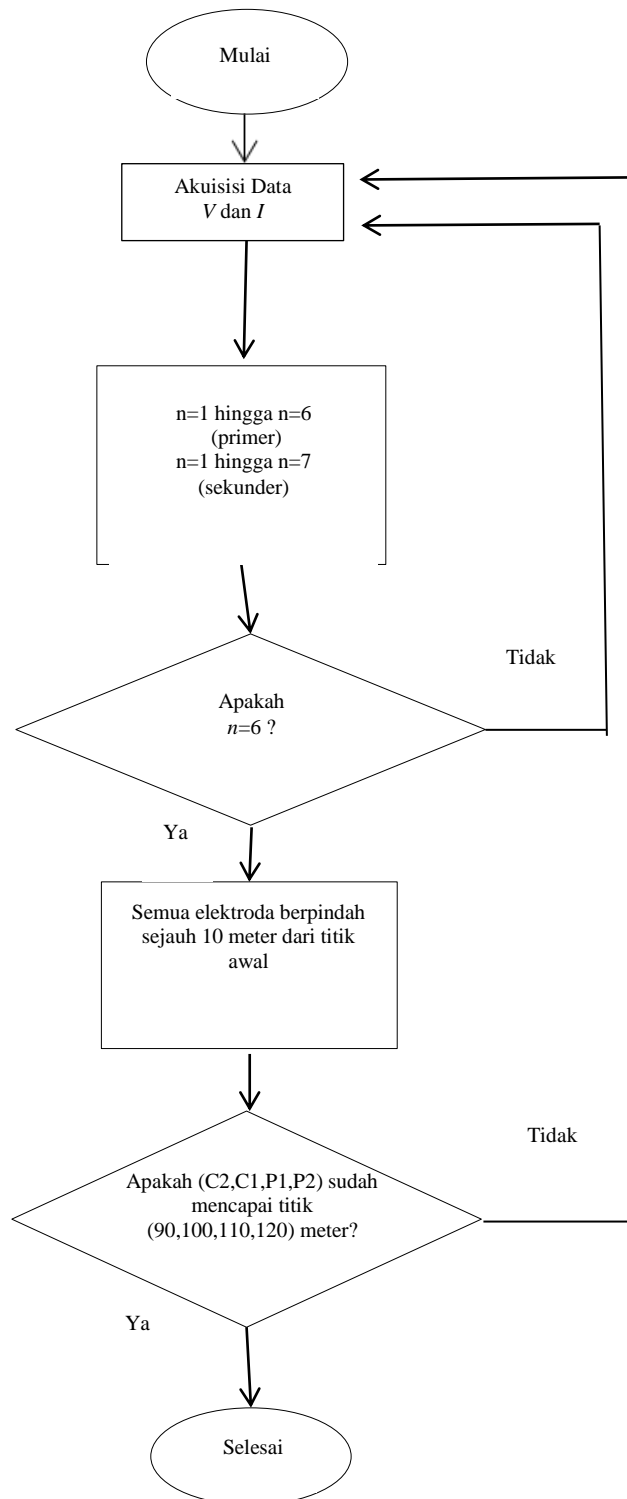
2. Pengambilan Data

Prosedur pengambilan data di lapangan dilakukan dengan menentukan titik pengukuran. Penentuan arah bentangan elektroda didasarkan pada gambar bentuk candi dan penelitian terdahulu. Dilakukan pengukuran satu lintasan secara langsung dan menggunakan 3 data sekunder yang diperoleh dari UPN “Veteran” Yogyakarta sebagai data dukung. Pengukuran secara langsung yaitu lintasan 1 berada di sebelah selatan candi induk membentang dari utara ke selatan. Lintasan data sekunder yaitu lintasan 2, lintasan 3, dan lintasan 4. Lintasan 2 berada di

sebelah barat laut candi induk membentang dari tenggara ke barat laut, lintasan 3 berada di sebelah timur candi induk membentang dari barat ke timur, dan lintasan 4 berada di sebelah tenggara candi induk membentang dari barat ke timur. Penggunaan data sekunder ini karena area tidak memungkinkan untuk dilakukan pengukuran dengan membentangkan lintasan di sebelah barat dan utara candi induk. Panjang masing-masing lintasan 120 meter dengan jarak antar elektroda masing-masing lintasan adalah 10 meter dan perbesaran jarak (n) antara elektroda arus (C1) dengan elektroda potensial (P1) diperbesar dari $n=1$ hingga $n=6$ untuk lintasan 1 dan $n=1$ hingga $n=7$ untuk lintasan 2, lintasan 3, dan lintasan 4. Susunan elektroda pada konfigurasi *dipole-dipole* ditunjukkan pada Gambar 8. Prosedur pengambilan data di lapangan dapat ditunjukkan pada diagram alir Gambar 9.



Gambar 8. Susunan Elektroda pada Konfigurasi *dipole-dipole*



Gambar 9. Diagram alir prosedur pengambilan data di lapangan konfigurasi *dipole-dipole*

3. Pengolahan Data

Data hasil pengukuran berupa nilai beda potensial (ΔV), besarnya kuat arus (I), dan jarak spasi (a). Dari data tersebut kemudian dilakukan perhitungan untuk menentukan nilai faktor geometri (K) dan resistansi (R) sehingga nilai resistivitas semu (ρ_a) didapatkan dengan persamaan $\rho_a = k \frac{\Delta V}{I}$, dengan k adalah faktor geometri konfigurasi *dipole-dipole*. Nilai faktor geometri didapatkan dengan persamaan $k = n(n + 1)(n + 2)\pi a$ dengan $n = 1, 2, 3, 4, 5$, dan 6.

Untuk memperoleh nilai resistivitas yang sebenarnya, diperlukan pengolahan data lebih lanjut dengan menggunakan *software*. Dalam pengolahan data, yang dilakukan pertama kali adalah membuka program tersebut, setelah itu pilih menu *file* kemudian *read data file* yang fungsinya menginput data dalam format **.dat*. Data ini sebelumnya telah dibuat dengan *software* notepad. Selanjutnya pilih OK dan pilih menu *inversion*, setelah itu *least squares inversion*. Kemudian terdapat pengaturan iterasi yang dapat diubah sesuai keinginan. Iterasi berfungsi untuk mengurangi *error* yang terjadi.

4. Interpretasi Data Resistivitas 2 Dimensi (*Res2Dinv*)

Interpretasi diartikan sebagai penerjemahan bahasa fisis berupa nilai resistivitas menjadi bahasa geologi yang lebih umum. Oleh karena itu, dalam melakukan interpretasi diperlukan pengetahuan geologi daerah penelitian untuk mengetahui jenis batuan. Batuan adalah material yang juga mempunyai daya hantar listrik dan nilai tahanan jenis tertentu. Nilai resistivitas yang sama bisa

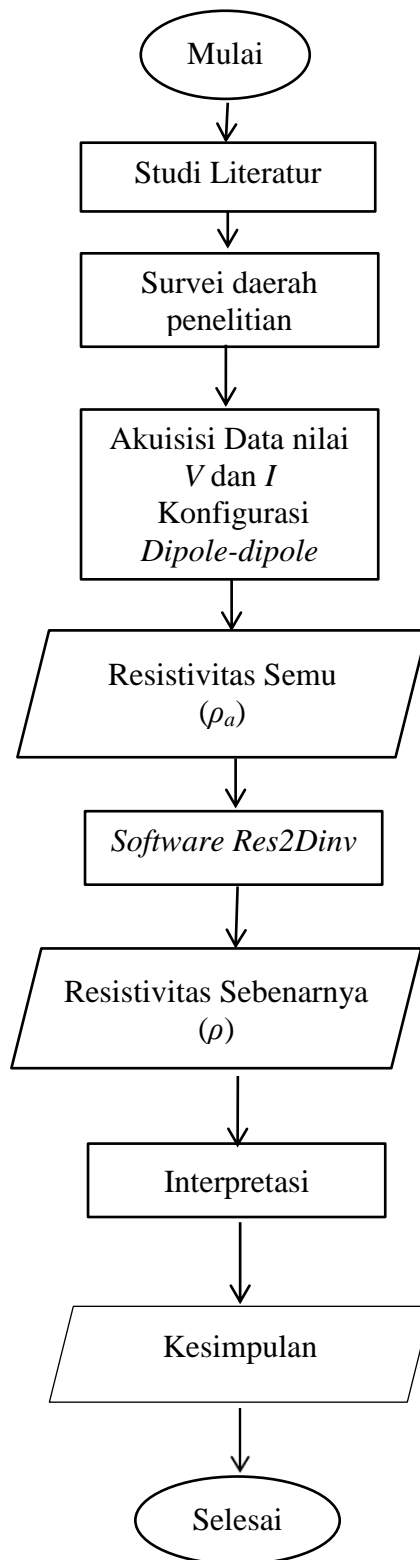
dimiliki oleh lebih dari satu batuan, hal ini terjadi karena nilai resistivitas batuan memiliki rentang nilai yang bisa saling tumpang tindih. Resistivitas batuan dapat dipengaruhi oleh beberapa aspek berikut ini.

- a. Batuan sedimen yang bersifat lepas (urai) mempunyai nilai tahanan jenis yang lebih rendah bila dibandingkan dengan batuan sedimen kompak.
- b. Batuan beku atau metamorf mempunyai nilai tahanan jenis yang tergolong tinggi.
- c. Batuan yang mengandung air nilai tahanan jenisnya rendah dan akan semakin rendah lagi apabila mengandung air asin.

Cara menginterpretasi adalah dengan mengkorelasikan penampang 2D hasil pengolahan data *software* Res2Dinv yang berupa informasi nilai resistivitas, kedalaman, dan ketebalan material dengan informasi geologi maupun penelitian terdahulu.

D. Diagram Alir Penelitian

Secara umum penelitian ini diawali dengan survei untuk mendapatkan gambaran kondisi awal daerah penelitian yang selanjutnya dilakukan akuisisi data geolistrik dengan konfigurasi *dipole-dipole*. Data hasil akuisisi diolah menggunakan program Res2Dinv untuk selanjutnya dilakukan interpretasi. Diagram alir dalam penelitian ini secara lengkap dapat dilihat dalam Gambar 10.



Gambar 10. Diagram alir penelitian

BAB IV

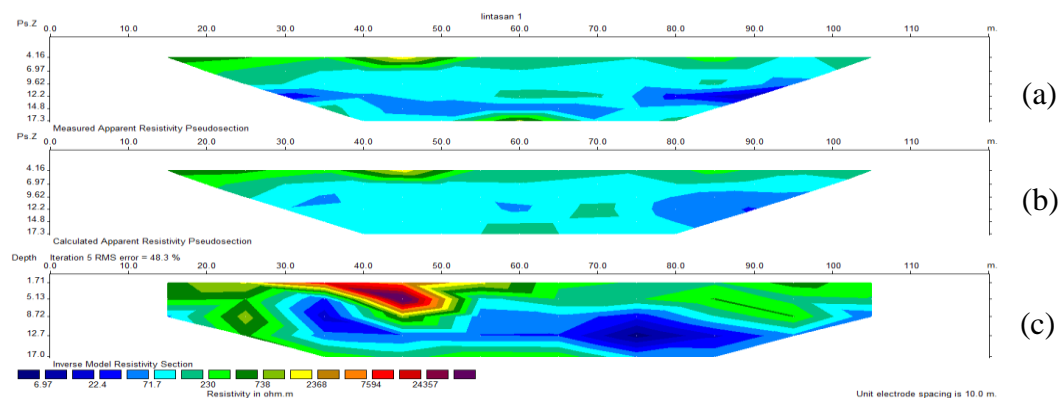
HASIL DAN PEMBAHASAN

Candi Kedulan merupakan salah satu candi Hindu yang berada di Dusun Kedulan, Kelurahan Tirtomartani, Kecamatan Kalasan. Area candi berada di persawahan warga, dan lokasinya di bawah kaki Gunung Merapi. Batuan candi induk, candi perwara, dan pagar halaman candi yang ditemukan saat dilakukan ekskavasi diketahui secara keseluruhan masih baik, namun beberapa batuan mengalami pertumbuhan mikro organisme dan sejumlah batuan candi mulai timbul gejala awal kerapuhan, pengelupasan, penggaraman, retak, dan pecah hilang. Batuan penyusun Candi Kedulan berupa batuan beku andesit. Batuan andesit memiliki ukuran butir yang halus dengan diameter kurang dari 1mm dan memiliki struktur berlubang-lubang yang disebabkan oleh keluarnya gas pada waktu pembekuan magma atau disebut struktur vesikuler. Material batu andesit pada umumnya tersusun atas bahan dasar yang mengandung unsur-unsur silica (SiO_2), Aluminium (Al), Kalsium (Ca), Magnesium (Mg), Sodium (Na), Kalium (K), dan Mangan. Batu andesit penyusun candi memiliki nilai resistivitas lebih besar dibanding nilai resistivitas material sekelilingnya. Adanya perbedaan nilai resistivitas material bawah permukaan dapat dicari dengan menggunakan metode geolistrik. Berdasarkan hasil ekskavasi yang telah dilakukan diketahui bahwa ketebalan lapisan material penimbun candi lebih kurang 8 meter dari permukaan tanah sekarang dan batu pagar candi bagian luar berada pada kedalaman 7 meter dan berada pada jarak 40 meter dari pagar bagian dalam candi (Anonim, 2004).

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui struktur bawah permukaan Candi Kedulan yang masih terpendam dan menentukan kedalaman batuan candi yang masih terpendam dan menentukan resistivitasnya. Pengambilan data dilakukan sebanyak satu lintasan dan ditambah tiga data dukung yang bersumber dari UPN “Veteran” Yogyakarta. Pengukuran data di area candi menggunakan alat *Resistivitymeter* Naniura model NRD 22S dengan metode geolistrik resistivitas konfigurasi *dipole-dipole* dengan panjang lintasan 120 meter dan jarak elektroda 10 meter.

Lintasan 1 berada di sebelah selatan candi induk, lintasan 2 berada di sebelah barat laut candi induk, lintasan 3 berada di sebelah timur candi induk, dan lintasan 4 berada di sebelah tenggara candi induk. Data yang didapatkan di lapangan berupa beda potensial ΔV , kuat arus listrik I , resistivitas semu ρ_a , faktor geometri k , dan bilangan pengali n . Data yang didapat dari lapangan diolah menggunakan *software* Res2dinv sehingga diperoleh penampang 2D lapisan bawah permukaan bumi beserta nilai tahanan jenis ρ dan kedalaman h . Model yang dihasilkan *software* Res2dinv berupa *pseudosection* (penampang) 2D resistivitas batuan yang sesuai dengan struktur bawah permukaan yang sebenarnya. *Pseudosection* 2D resistivitas batuan ditunjukkan pada Gambar 11. Berdasarkan Gambar 11, pengolahan data yang menggunakan *software* Res2dinv menghasilkan tiga *pseudosection* 2D. Gambar 11(a) menunjukkan kontur resistivitas semu pengukuran. Penampang ini menunjukkan besarnya nilai resistivitas yang terukur di lapangan (*measured apparent resistivity*). Nilai resistivitas ini merupakan nilai resistivitas semu yang artinya nilai resistivitas

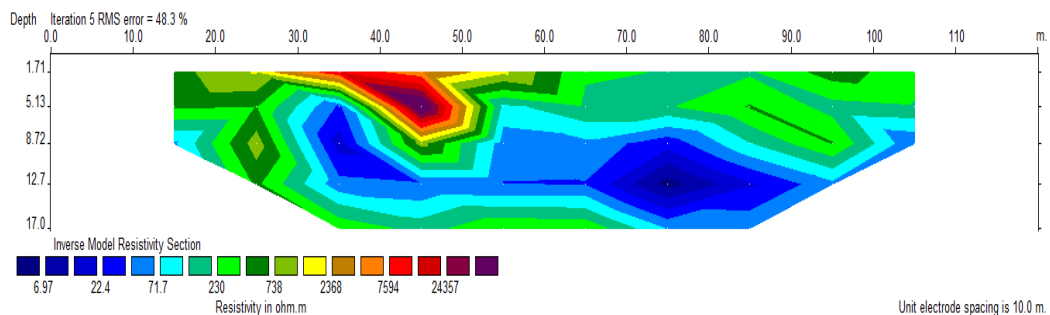
gabungan dari banyak lapisan batuan bawah permukaan yang dilalui arus saat pengukuran. Nilai resistivitas semu ini diperoleh dengan mengalikan besarnya hambatan dengan besarnya nilai faktor geometri k pada persamaan (24). Gambar 11(b) adalah penampang kontur resistivitas semu dari hasil perhitungan (*calculated apparent resistivity*) yang didapat dari hasil resistivitas yang sudah dikalikan dengan faktor geometri, atau dapat dikatakan sebagai pemodelan dari resistivitas semu. Kedalaman penampang semu ini ditampilkan hanya berdasarkan nilai n (faktor pengali). Gambar 11(c) merupakan penampang resistivitas sebenarnya (*true resistivity*) yang merupakan hasil inversi dari model nilai resistivitas semu. Inversi merupakan proses perhitungan nilai resistivitas semu dengan menggunakan algoritma *Least Square* agar hasilnya mendekati keadaan struktur bawah permukaan yang sebenarnya. Penampang *true resistivity* dijadikan sebagai dasar interpretasi struktur bawah permukaan untuk mengidentifikasi kemungkinan batuan candi (andesit) karena mendekati nilai resistivitas yang sebenarnya.



Gambar 11. Model penampang 2D Res2Dinv, (a) penampang resistivitas semu, (b) penampang *apparent resistivity* dan (c) penampang *true resistivity*

A. Hasil Model Penampang 2D Res2Dinv Lintasan 1

Lintasan 1 terletak pada koordinat $7^{\circ}44'34,77''$ LS sampai $7^{\circ}44'38,52''$ LS dan $110^{\circ}28'11,49''$ BT sampai $110^{\circ}28'11,68''$ BT. Panjang lintasan pertama sejauh 120 meter dengan jarak antar elektroda 10 meter. Pemilihan lintasan ini dengan dasar besarnya kemungkinan adanya sisa batuan candi yang masih tertimbun cenderung berada di selatan candi induk dengan melihat sejarah aliran material vulkanik letusan Gunung Merapi yang menutup candi dari utara ke selatan dan cenderung konstan tidak melebar lagi karena adanya batasan morfologi Pegunungan Seribu di sebelah timur dan Perbukitan Menoreh di sebelah barat. Gambaran struktur bawah permukaan pada lintasan 1 ditunjukkan pada Gambar 12. Penampang 2D ini menunjukkan distribusi nilai resistivitas batuan dan kedalamannya.


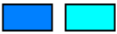





Gambar 12. Penampang 2D Resistivitas Batuan Lintasan 1

Berdasarkan hasil pengolahan data menggunakan *software* Res2dinv pada Gambar 12 diperoleh resistivitas batuan berkisar dari $0,74 \Omega\text{m}$ - $41120 \Omega\text{m}$ dan dapat diinterpretasikan sebagai berikut: resistivitas batuan dengan nilai $16030 \Omega\text{m}$ - $41120 \Omega\text{m}$ (ditunjukkan warna merah tua hingga ungu) merupakan batuan andesit yang diduga sebagai batuan candi yang ditemukan pada kedalaman sekitar

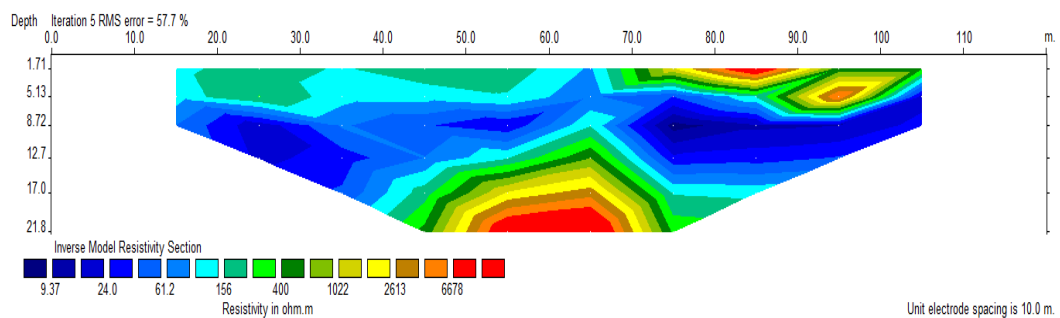
5-7 meter. Hal ini sesuai dengan hasil penggalian batuan candi yang telah dilakukan bahwa batuan andesit bagian dasar candi dan pagar luar candi berada pada kedalaman sekitar 6-8 meter (Anonim, 2004) dan merujuk pada hasil pengolahan data GPR bahwa batuan pagar dalam candi dideteksi pada kedalaman 7 meter. Resistivitas batuan dengan nilai $<16030 \Omega\text{m}$ merupakan material vulkanik yang menutup candi. Nilai resistivitas $712 \Omega\text{m}$ - $16029 \Omega\text{m}$ (ditunjukkan warna hijau hingga merah) merupakan lapisan batupasir dan pasir kasar campur kerikil, lapisan ini berada pada kedalaman 1,71-8,72 meter. Nilai resistivitas $171 \Omega\text{m}$ - $711 \Omega\text{m}$ (ditunjukkan warna hijau kebiruan hingga hijau tua) merupakan lapisan aluvium yang berada pada kedalaman 1,71-7,00 meter. Nilai resistivitas $57 \Omega\text{m}$ - $170 \Omega\text{m}$ (ditunjukkan warna biru medium hingga biru muda) merupakan lapisan lempung pasiran yang berada pada kedalaman 5,00-17,00 meter. Nilai resistivitas $0,74 \Omega\text{m}$ - $56 \Omega\text{m}$ (ditunjukkan warna biru tua hingga biru) merupakan lapisan lempung yang berada pada kedalaman 5,13-13,00 meter dan 7,00-16,00 meter. Selain melihat gambar lapisan material dari hasil ekskavasi, nilai resistivitas batuan dapat dilihat pada Tabel 1. Nilai resistivitas batuan lintasan 1 ditunjukkan pada Tabel 2 berupa citra warna dan jenis batuan.

Tabel 2. Citra warna dan jenis batuan pada lintasan 1

Warna	Resistivitas (Ωm)	Jenis Batuan
	0,74-56	Lempung
	57-170	Lempung Pasiran
	171-711	Aluvium
	712-16029	Batupasir dan pasir kasar campur kerikil
	16030-41120	Andesit

B. Hasil Model Penampang 2D Res2Dinv Lintasan 2

Lintasan 2 terletak pada koordinat $7^{\circ}44'32,64''$ LS sampai $7^{\circ}44'28,84''$ LS dan $110^{\circ}28'10,70''$ BT sampai $110^{\circ}28'11,92''$ BT. Panjang lintasan kedua sejauh 120 meter dengan jarak antar elektroda 10 meter. Gambaran struktur bawah permukaan pada lintasan 2 ditunjukkan pada Gambar 13. Penampang 2D ini menunjukkan distribusi nilai resistivitas batuan dan kedalamannya.







Gambar 13. Penampang 2D Resistivitas Batuan Lintasan 2

Berdasarkan hasil pengolahan data menggunakan *software* Res2dinv pada Gambar 13 diperoleh resistivitas batuan berkisar dari 2,06 Ω m-10742 Ω m dan dapat diinterpretasikan sebagai berikut: nilai resistivitas batuan 712 Ω m-10742 Ω m (ditunjukkan warna hijau medium hingga merah) merupakan lapisan batupasir dan pasir kasar bercampur kerikil yang berada pada kedalaman 17,00-21,80 meter. Nilai resistivitas 171 Ω m-711 Ω m (ditunjukkan warna hijau kebiruan hingga hijau tua) merupakan lapisan aluvium, lapisan ini berada pada kedalaman 1,71-5,13 meter. Nilai resistivitas 57 Ω m-170 Ω m (ditunjukkan warna biru medium hingga biru muda) merupakan lapisan lempung pasir, lapisan ini berada pada kedalaman 5,13-17,50 meter. Nilai resistivitas 2,06 Ω m-56 Ω m (ditunjukkan warna biru tua hingga biru) merupakan lapisan lempung yang berada pada kedalaman 5,13-12,00 meter dan 8,50-17,00 meter. Pada lintasan 2 tidak

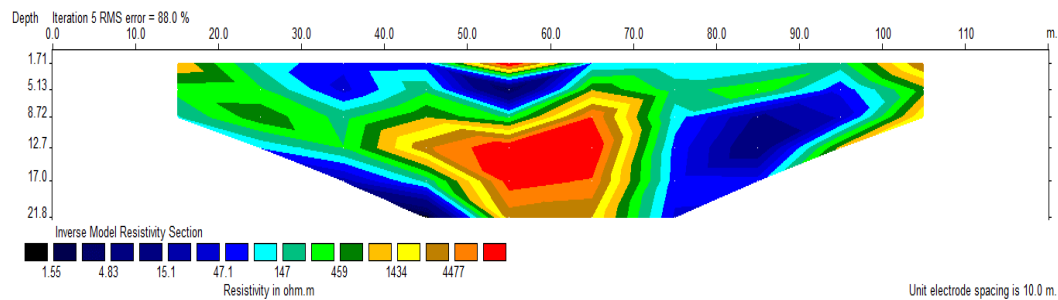
ditemukan adanya batu penyusun candi yang masih terpendam. Kemungkinan batuan candi pada lintasan 2 bergeser dari letak aslinya akibat adanya aliran material lahar dingin dari sebelah barat laut candi yang melewati sungai purba. Hasil penggalian yang telah dilakukan pada Candi Perwara yang berada di sebelah timur candi induk bahwa bagian Candi Perwara selatan lebih utuh dibandingkan dengan Candi Perwara utara dan tengah, hal ini dapat diasumsikan bahwa aliran lahar dari arah barat laut dan mengalir ke selatan (Anonim, 2004). Nilai resistivitas batuan lintasan 2 ditunjukkan pada Tabel 3 berupa citra warna dan jenis batuan.

Tabel 3. Citra warna dan jenis batuan pada lintasan 2

Warna	Resistivitas (Ωm)	Jenis Batuan
	2,06-56	Lempung
	57-170	Lempung Pasiran
	171-711	Aluvium
	712-10742	Batupasir dan pasir kasar campur kerikil

C. Hasil Model Penampang 2D Res2Dinv Lintasan 3





Lintasan 3 terletak pada koordinat $7^{\circ}44'33,42''$ LS sampai $7^{\circ}44'33,88''$ LS dan $110^{\circ}28'11,89''$ BT sampai $110^{\circ}28'15,70''$ BT. Panjang lintasan ketiga sejauh 120 meter dengan jarak antar elektroda 10 meter. Gambaran struktur bawah permukaan pada lintasan 3 ditunjukkan pada Gambar 14. Penampang 2D ini menunjukkan distribusi nilai resistivitas batuan dan kedalamannya.



Gambar 14. Penampang 2D Resistivitas Batuan Lintasan 3

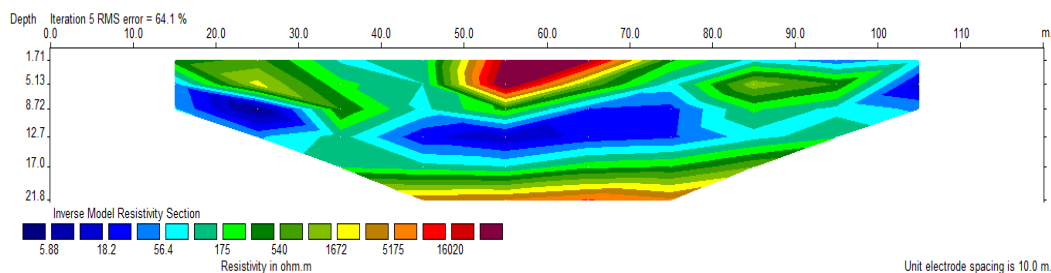
Berdasarkan hasil pengolahan data menggunakan *software* Res2dinv pada Gambar 14 diperoleh resistivitas batuan berkisar dari 0,09 Ωm -7520 Ωm dan dapat diinterpretasikan sebagai berikut: nilai resistivitas batuan 712 Ωm -7520 Ωm (ditunjukkan warna kuning kehijauan hingga merah) merupakan lapisan batupasir dan pasir kasar yang berada pada kedalaman 17,00-21,80 meter. Nilai resistivitas 171 Ωm -711 Ωm (ditunjukkan warna hijau kebiruan hingga hijau tua) merupakan lapisan aluvium, lapisan ini berada pada kedalaman 1,71-10,00 meter. Nilai resistivitas 57 Ωm -170 Ωm (ditunjukkan warna biru medium hingga biru muda) merupakan lapisan lempung pasir, lapisan ini berada pada kedalaman 1,71-5,50 meter. Nilai resistivitas 0,09 Ωm -56 Ωm (ditunjukkan warna hitam hingga biru) merupakan lapisan lempung yang berada pada kedalaman 5,13-17,00 meter. Pada lintasan 3 tidak ditemukan adanya batu penyusun candi yang masih terpendam. Hal ini karena kemungkinan batuan tersapu aliran material vulkanik ke arah selatan candi bukan ke arah timur candi mengikuti arah aliran sungai purba. Nilai resistivitas batuan lintasan 3 ditunjukkan pada Tabel 4 berupa citra warna dan jenis batuan.

Tabel 4. Citra warna dan jenis batuan pada lintasan 3

Warna	Resistivitas (Ωm)	Jenis Batuan
	0,09-56	Lempung
	57-170	Lempung Pasiran
	171-711	Aluvium
	712-7520	Batupasir dan pasir kasar campur kerikil

D. Hasil Model Penampang 2D Res2Dinv Lintasan 4

Lintasan 4 terletak pada koordinat $7^{\circ}44'35,58''$ LS sampai $7^{\circ}44'35,69''$ LS dan $110^{\circ}28'11,84''$ BT sampai $110^{\circ}28'15,79''$ BT. Panjang lintasan keempat sejauh 120 meter dengan jarak antar elektroda 10 meter. Gambaran struktur bawah permukaan pada lintasan 4 ditunjukkan pada Gambar 15. Penampang 2D ini menunjukkan distribusi nilai resistivitas batuan dan kedalamannya.








Gambar 15. Penampang 2D Resistivitas Batuan Lintasan 4

Berdasarkan hasil pengolahan data menggunakan *software* Res2dinv pada Gambar 15 diperoleh resistivitas batuan berkisar dari $0,28 \Omega\text{m}$ - $26865 \Omega\text{m}$ dan dapat diinterpretasikan sebagai berikut: nilai resistivitas batuan dengan nilai

16030 Ωm -26865 Ωm (ditunjukkan warna merah tua hingga ungu) merupakan batuan andesit yang diduga sebagai batuan candi yang ditemukan pada kedalaman sekitar 5-6 meter. Hal ini sesuai dengan hasil penggalian batuan candi yang telah dilakukan bahwa batuan andesit bagian dasar candi dan pagar luar candi berada pada kedalaman sekitar 6-8 meter (Anonim, 2004) dan merujuk pada hasil pengolahan data GPR bahwa batuan pagar dalam candi dideteksi pada kedalaman 7 meter. Resistivitas batuan dengan nilai $<16030 \Omega\text{m}$ merupakan material vulkanik yang menutup candi. Nilai resistivitas 712 Ωm -16029 Ωm (ditunjukkan warna hijau hingga merah) merupakan lapisan batupasir dan pasir kasar, lapisan ini berada pada kedalaman 1,71-9,00 meter dan 19,50-21,80 meter. Nilai resistivitas 171 Ωm -711 Ωm (ditunjukkan warna hijau muda hingga hijau tua) merupakan lapisan aluvium yang berada pada kedalaman 1,71-9,00 meter dan pada kedalaman 17,00-18,00 meter. Tampak dari gambar hasil pengolahan data lapisan ini hanya tipis dan tidak merata di sepanjang lintasan. Nilai resistivitas 57 Ωm -170 Ωm (ditunjukkan warna biru muda hingga biru kehijauan) merupakan lapisan lempung pasir yang berada pada kedalaman 1,71-17,00 meter. Nilai resistivitas 0,28 Ωm -56 Ωm (ditunjukkan warna biru tua hingga biru medium) merupakan lapisan lempung yang berada pada kedalaman 8,72-15,00 meter. Selain melihat dari hasil penggalian dan hasil pengolahan data GPR, nilai resistivitas batuan dapat dilihat pada Tabel 1. Nilai resistivitas batuan lintasan 4 ditunjukkan pada Tabel 5 berupa citra warna dan jenis batuan.

Tabel 5. Citra warna dan jenis batuan pada lintasan 4

Warna	Resistivitas (Ωm)	Jenis Batuan
	0,28-56	Lempung
	57-170	Lempung Pasiran
	171-711	Aluvium
	712-16029	Batupasir dan pasir kasar campur kerikil
	16030-26865	Andesit

Dari hasil pengukuran pada keempat lintasan didapatkan rentang nilai resistivitas sebagai berikut :

1. Lapisan lempung dengan nilai resistivitas 0,09-56 Ωm .
2. Lapisan lempung pasiran dengan nilai resistivitas 57-170 Ωm .
3. Lapisan aluvium dengan nilai resistivitas 171-711 Ωm .
4. Lapisan batupasir dan pasir kasar campur kerikil dengan nilai resistivitas 712-16029 Ωm .
5. Batu andesit dengan nilai resistivitas 16030-41120 Ωm .

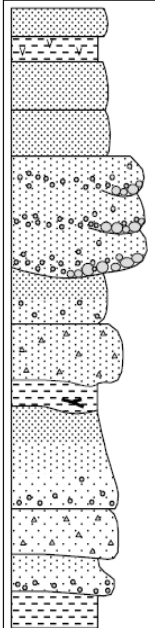
Dengan melihat adanya perbedaan nilai resistivitas batuan, peneliti dapat mengidentifikasi struktur bawah permukaan Candi Kedulan dan menentukan kedalaman batuan penyusun Candi Kedulan yang masih terpendam yaitu, batu candi (andesit) yang masih terpendam berada pada kedalaman antara 5-7 meter dengan nilai resistivitas 16030-41120 Ωm . Dapat dideskripsikan bahwa struktur lapisan bawah permukaan di area Candi Kedulan didominasi lapisan lempung, aluvium, batupasir, pasir lempungan, dan kerikil, dimana di area candi

memperlihatkan adanya endapan sungai purba yang sudah terbatukan dan endapan vulkanik hasil letusan gunung berapi.

Hasil ekskavasi dari tim BP3 Yogyakarta dapat diketahui jenis dan ketebalan lapisan bawah permukaan penimbun Candi Kedulan. Terdapat 15 jenis lapisan dengan ketebalan yang bervariasi. Gambar 16 menunjukkan jenis dan ketebalan lapisan pada area Candi Kedulan. Berdasarkan gambar 16, hasil analisis data dalam penelitian ini dapat dirangkum dalam Tabel 6.

Tabel 6. Rentang nilai resistivitas batuan serta kedalamannya

Resistivitas (Ω m)	Kedalaman (m)	Jenis batuan
0,09 – 56	5,13 – 17,00	Lempung
57 – 170	1,71 – 17,00	Lempung pasir
171 – 711	1,71 – 10,00 17,00 – 18,00	Aluvium
712 – 16029	1,71 – 9,00 17,00 – 21,80	Batupasir dan pasir kasar campur kerikil
16030 – 41120	5,00 – 7,00	Andesit

Lithology	Thickness (cm)	Layer unit	Description
	< 20	15	Intercalations of fluvial sand and pyroclastic tuf
	< 20	14	
	< 40	13	
	< 40	12	
	250	11	2-3 sequences of lahar deposits, composed of normal grading of boulder to sand. Floating fragments are common near the bottom.
		10	
		9	
	150	8	Normal grading of coarse to medium sand. Lamination and planar cross beds are common at the top.
	< 80	7	Gravelly sand, mainly composed of floating angular scorian andesite fragments.
	< 6	6	Black clay with some small tree trunks.
	> 30	5	Reddish brown sandy clay with paleosol < 10 cm.
	80 - 200	4	Graded bedding gravelly sand. Lamination and planar cross beds are common at the top.
	80 - 160	3	Massive gravelly sand with angular andesite fragments.
	40 - 50	2	Graded bedding coarse to medium sand.
	> 30	1	Reddish brown clayey fine-sand.

Gambar 16. Lapisan penimbun Candi Kedulan (Anonim, 2004)

BAB V

PENUTUP

A. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian dan analisis data yang dilakukan diperoleh kesimpulan sebagai berikut:

1. Struktur bawah permukaan di area Candi Kedulan Kecamatan Kalasan yang masih terpendam terdapat lapisan lempung dengan nilai resistivitas 0,09-56 Ωm , lapisan lempung pasir dengan nilai resistivitas 57-170 Ωm , lapisan aluvium dengan nilai resistivitas 171-711 Ωm , lapisan batupasir dan pasir kasar campur kerikil dengan nilai resistivitas 712-16029 Ωm , dan batu andesit yang diasumsikan sebagai batuan penyusun candi yang masih terpendam dengan nilai resistivitas 16030-41120 Ωm .
2. Hasil pengambilan data diketahui kedalaman batuan penyusun Candi Kedulan yang masih terpendam sebagai berikut :
 - a) Lintasan 1 yaitu pada kedalaman 5-7 meter pada titik ukur 42-45 meter, dengan nilai resistivitas 16030-41120 Ωm .
 - b) Lintasan 2 dan 3 tidak ditemukan adanya lapisan batuan andesit.
 - c) Lintasan 4 yaitu pada kedalaman 5-6 meter pada titik ukur 55 meter, dengan nilai resistivitas 16030-26865 Ωm .

B. Saran

Untuk penelitian berikutnya dapat dikembangkan dengan mengambil lintasan menggunakan spasi yang lebih kecil, sehingga mendapatkan hasil yang lebih akurat. Sedangkan untuk memperkirakan letak batuan candi agar lebih akurat, pada desain survei harus mengacu pada gambar sketsa candi yang ada dan kondisi geologi lokal.

Daftar Pustaka

- Anonim. (1994). *Laporan Penyelamatan Situs Kedulan, Dusun Kedulan, Tirtomartani, Kalasan, Sleman, Periode 1994*. Yogyakarta: Suaka Peninggalan Sejarah Dan Purbakala.
- Anonim. (2004). *Studi Teknis Arkeologis Situs Kedulan*. Yogyakarta: Pemerintah Daerah Tingkat II Kabupaten Sleman Dinas Kebudayaan dan Pariwisata.
- Baskoro, DT. (2007). *Candi Losari: Sebuah Candi di Kawasan Borobudur*. Yogyakarta: Yayasan Tahija & Balai Arkeologi Yogyakarta.
- Berthommier, P.C. (1990). Etude volcanologique du Merapi (Centre-Java) Te´phrostratigraphie et chronologie-mecanismes eruptifs. *Thesis*. Clermont-Ferrand: University of Blaise Pascal.
- Camus, G., Gourgaud, a., Mossand-Berthommier, P.-C., and Vincent, P.M. (2000). *Merapi (Central Java, Indonesia) : An Outline of Structural and Magmatological Evolution, with a Special Emphasis to the Major Pyroclastic Events*, Journal of Volcanology and Geothermal Research, Vol. 100. Amsterdam: Elsevier Scientific Publishing Company.
- Darsono, Bambang N., Budi L. (2012). Identifikasi Bidang Gelincir Pemicu Bencana Tanah Longsor Dengan Metode Resistivitas 2 Dimensi Di Desa Pablengan Kecamatan Matesih Kabupaten Karanganyar. Jurusan Fisika Fakultas MIPA Universitas Sebelas Maret Surakarta. *Indonesian Journal of Applied Physics (2012) vol. 2 no. 1*.
- Hendrajaya, Lilik & Idham Arif. (1990). *Geolistrik Tahanan Jenis, Monografi: Metoda Eksplorasi*. Bandung: Laboratorium Fisika Bumi, ITB.
- Husein, Salahudin, Saptono B. S., Subagyo P. (2007). *Georadar Investigation at the Kedulan Temple Ekavation Site, Kalasan, Yogyakarta*. Yogyakarta: Department of Geological Engineering, Faculty of Engineering, UGM.
- Morais, F. (2008). Study Of Flow In Vadose Zone From Electrical Resistivity Surveys. *Journal of Sociedade Brasileira de Geof'isica*.
- Nandi. (2010). *Geologi Lingkungan: Batuan, Mineral dan Batubara*. Bandung: UPI.
- Pratama, Wahyu. (2015). *Ciri-Ciri Dan Perbedaan Candi Hindu Dan Budha*. Diakses pada 13 Desember 2017 pukul 21.15 WIB dari <https://www.idsejarah.net/2015/11/ciri-ciri-dan-perbedaan-candi-hindu-dan.html>

Rahardjo, Wartono, Sukandarrumidi, dan Rosidi, H. M. D. (1995). *Peta Geologi Lembar Yogyakarta, Jawa, skala 1:1000*. Bandung: Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi.

Santoso, Djoko. (2002). *Pengantar Teknik Geofisika*. Bandung : ITB Press.

Saputro, Bayu, Dimas T. S., Donata N., Herdy A. P., Margaretha S., Angga K., Bahrin A., Zubaeda T. (2010). *Buku Panduan Praktikum Geolistrik*. Yogyakarta: Laboratorium Geofisika Eksplorasi, UPN.

Sismanto. (2004). *Laporan Teknis Pengukuran Pada Komplek Situs Candi Kedulan Dengan Menggunakan Metode Geoelektrik, Geomagnetik dan Elektromagnetik VLF*. Yogyakarta: Lab. Geofisika, Jurusan Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, UGM.

Sismanto, Moch. Nukman, Eddy Hartantyo, Theodosius M. I. (2016). *Buku Panduan Kegiatan Lapangan Mengenal Batuan dan Pemanfaatannya*. Yogyakarta: Laboratorium Geofisika, UGM.

Soekmono. (1973). *Pengantar Sejarah Kebudayaan Indonesia 2*. Yogyakarta: Kanisius.

Soekmono. (1990). *Candi Fungsi dan Pengertiannya*. Semarang: IKIP Semarang Press.

Suyanto, Slamet, dan Brahmantara. (2008). *Situs Kedulan Potensi Dan Permasalahannya*. Magelang: Balai Konservasi Peninggalan Borobudur.

Syamsudin. (2007). Penentuan Struktur Bawah Permukaan Bumi Dangkal Dengan Menggunakan Metoda Geolistrik Tahanan Jenis 2D (Studi Kasus Potensi Tanah Longsor Di Panawangan, Ciamis). *Tesis*. Bandung : ITB Central Library.

Telford, W. M., Geldart, L. P., Sheriff R.E., (1990). *Applied Geophysics*. Second Edition. London: Cambridge University Press.

Wahid, A., (2007). Analisis Keberadaan Batuan Gamping (*Limestone*) Berdasarkan Nilai Resistivitasnya, Media Exacta, *Journal of Science and Engineering*, vol.8, no.2, Juli 2007, hlm 1056-1062.

LAMPIRAN 1

DATA HASIL PENGUKURAN

Lokasi : Candi Kedulan, Kecamatan Kalasan

Hari : Jumat

Tanggal : 8 Mei 2015

Nama Lintasan : Lintasan 1

Cuaca : Cerah

Koordinat : Awal Akhir

X $7^{\circ}44'34,77''$ LS $7^{\circ}44'38,52''$ LS

Y $110^{\circ}28'11,49''$ BT $110^{\circ}28'11,68''$ BT

No	n	C2	C1	P1	P2	V (mV)	I (mA)	R (ohm)	k	ρ_a	a
1	1	0	10	20	30	288	99	2.909091	188.4	548.0727	10
2	2	0	10	30	40	30	86	0.348837	753.6	262.8837	10
3	3	0	10	40	50	8.2	107	0.076636	1884	144.3813	10
4	4	0	10	50	60	0.8	113	0.00708	3768	26.67611	10
5	5	0	10	60	70	2.9	114	0.025439	6594	167.7421	10
6	6	0	10	70	80	1.2	114	0.010526	10550.4	111.0568	10
7	1	10	20	30	40	431	188	2.292553	188.4	431.917	10
8	2	10	20	40	50	34.9	186	0.187634	753.6	141.4013	10
9	3	10	20	50	60	10.9	183	0.059563	1884	112.2164	10
10	4	10	20	60	70	1.8	107	0.016822	3768	63.38692	10
11	5	10	20	70	80	0.7	91	0.007692	6594	50.72308	10
12	6	10	20	80	90	0.7	80	0.00875	10550.4	92.316	10
13	1	20	30	40	50	132.2	104	1.271154	188.4	239.4854	10
14	2	20	30	50	60	16	107	0.149533	753.6	112.6879	10
15	3	20	30	60	70	5.6	96	0.058333	1884	109.9	10
16	4	20	30	70	80	2.1	88	0.023864	3768	89.91818	10
17	5	20	30	80	90	0.6	93	0.006452	6594	42.54194	10
18	6	20	30	90	100	7.5	96	0.078125	10550.4	824.25	10
19	1	30	40	50	60	88.9	8.7	10.21839	188.4	1925.145	10
20	2	30	40	60	70	10	79	0.126582	753.6	95.39241	10
21	3	30	40	70	80	5.8	100.8	0.05754	1884	108.4048	10
22	4	30	40	80	90	4	99	0.040404	3768	152.2424	10
23	5	30	40	90	100	0.6	94	0.006383	6594	42.08936	10
24	6	30	40	100	110	0.6	83	0.007229	10550.4	76.26795	10

No	n	C2	C1	P1	P2	V (mV)	I (mA)	R (ohm)	k	ρ_a	a
25	1	40	50	60	70	78.8	71	1.109859	188.4	209.0975	10
26	2	40	50	70	80	11.6	73	0.158904	753.6	119.7501	10
27	3	40	50	80	90	4.5	76	0.059211	1884	111.5526	10
28	4	40	50	90	100	2.4	66	0.036364	3768	137.0182	10
29	5	40	50	100	110	0.9	76	0.011842	6594	78.08684	10
30	6	40	50	110	120	1.1	79	0.013924	10550.4	146.9043	10
31	1	50	60	70	80	100.2	92	1.08913	188.4	205.1922	10
32	2	50	60	80	90	9.7	90	0.107778	753.6	81.22133	10
33	3	50	60	90	100	4.3	90	0.047778	1884	90.01333	10
34	4	50	60	100	110	0.7	85	0.008235	3768	31.03059	10
35	5	50	60	110	120	1.1	75	0.014667	6594	96.712	10
36	1	60	70	80	90	37.1	52	0.713462	188.4	134.4162	10
37	2	60	70	90	100	8.1	57	0.142105	753.6	107.0905	10
38	3	60	70	100	110	5.3	71	0.074648	1884	140.6366	10
39	4	60	70	110	120	0.2	58	0.003448	3768	12.9931	10
40	1	70	80	90	100	69.8	42	1.661905	188.4	313.1029	10
41	2	70	80	100	110	5.2	37	0.140541	753.6	105.9114	10
42	3	70	80	110	120	0.9	37	0.024324	1884	45.82703	10
43	1	80	90	100	110	24.3	44	0.552273	188.4	104.0482	10
44	2	80	90	110	120	8.2	52	0.157692	753.6	118.8369	10
45	1	90	100	110	120	63.8	53	1.203774	188.4	226.7909	10

C1 = elektroda arus 1

C2 = elektroda arus 2

P1 = elektroda potensial 1

P2 = elektroda potensial 2

a = jarak spasi elektroda

k = faktor geometri

n = faktor pengali

ρ_a = resistivitas semu

Lokasi : Candi Kedulan, Kecamatan Kalasan

Hari : Sabtu

Tanggal : 17 Januari 2015

Nama Lintasan : Lintasan 2

Cuaca : Cerah

Koordinat : Awal Akhir

X $7^{\circ}44'32,64''$ LS $7^{\circ}44'28,84''$ LS

Y $110^{\circ}28'10,70''$ BT $110^{\circ}28'11,92''$ BT

No	n	C2	C1	P1	P2	I (mA)	V (mV)	R (ohm)	k	ρ_a	a
1	1	0	10	20	30	34.15	21.601	0.632533	188.4	119.2	10
2	2	0	10	30	40	40.05	3.115	0.077778	753.6	58.7	10
3	3	0	10	40	50	40.08	1.068	0.026647	1884	50.2	10
4	4	0	10	50	60	40.41	0.48	0.011878	3768	44.8	10
5	5	0	10	60	70	40.24	1.202	0.029871	6594	197	10
6	6	0	10	70	80	40.08	0.677	0.016891	10550.4	178.4	10
7	7	0	10	80	90	40.03	0.503	0.012566	15825.6	199.9	10
8	1	10	20	30	40	43.18	22.052	0.510699	188.4	96.3	10
9	2	10	20	40	50	43.17	4.826	0.111791	753.6	84.3	10
10	3	10	20	50	60	43.18	1.507	0.0349	1884	65.8	10
11	4	10	20	60	70	33.18	0.636	0.019168	3768	72.2	10
12	5	10	20	70	80	33.11	0.362	0.010933	6594	72.2	10
13	6	10	20	80	90	33.01	0.61	0.018479	10550.4	195.2	10
14	7	10	20	90	100	43.2	0.076	0.001759	15825.6	28	10
15	1	20	30	40	50	18.15	11.002	0.606171	188.4	114.2	10
16	2	20	30	50	60	18.71	2.842	0.151897	753.6	114.5	10
17	3	20	30	60	70	18.93	1.17	0.061807	1884	116.5	10
18	4	20	30	70	80	19.27	0.833	0.043228	3768	162.9	10
19	5	20	30	80	90	19.53	0.245	0.012545	6594	92.7	10
20	6	20	30	90	100	19.03	0.099	0.005202	10550.4	54.7	10
21	7	20	30	100	110	18.97	0.048	0.00253	15825.6	39.8	10
22	1	30	40	50	60	31.31	17.621	0.562791	188.4	106.1	10
23	2	30	40	60	70	31.35	2.26	0.072089	753.6	54.4	10
24	3	30	40	70	80	31.37	1.106	0.035257	1884	66.5	10
25	4	30	40	80	90	31.31	1.386	0.044267	3768	166.9	10
26	5	30	40	90	100	31.335	0.310071	0.009895	6594	65.25	10
27	6	30	40	100	110	25.84	0.089	0.003444	10550.4	36.4	10
28	7	30	40	110	120	31.95	0.21	0.006573	15825.6	104.3	10

No	n	C2	C1	P1	P2	V (mV)	I (mA)	R (ohm)	k	ρ_a	a
29	1	40	50	60	70	20.68	12.935	0.625484	188.4	117.9	10
30	2	40	50	70	80	20.74	2.807	0.135342	753.6	102	10
31	3	40	50	80	90	21.09	0.89	0.0422	1884	8	10
32	4	40	50	90	100	20.75	0.42	0.020241	3768	76.2	10
33	5	40	50	100	110	20.25	0.811	0.040049	6594	264.1	10
34	6	40	50	110	120	20.34	0.61	0.02999	10550.4	316.8	10
35	1	50	60	70	80	26.91	18.46	0.68599	188.4	129.3	10
36	2	50	60	80	90	45.42	5.089	0.112043	753.6	84.9	10
37	3	50	60	90	100	45.2	3.421	0.075686	1884	142.6	10
38	4	50	60	100	110	45.14	0.728	0.016128	3768	60.8	10
39	5	50	60	110	120	45.12	1.631	0.036148	6594	238.5	10
40	1	60	70	80	90	50.02	17.869	0.357237	188.4	67.3	10
41	2	60	70	90	100	55.43	3.678	0.066635	753.6	50	10
42	3	60	70	100	110	55.48	0.706	0.012725	1884	24	10
43	4	60	70	110	120	55.52	0.464	0.008357	3768	31.5	10
44	1	70	80	90	100	19.6	3.548	0.18102	188.4	34.1	10
45	2	70	80	100	110	20	0.763	0.03815	753.6	28.8	10
46	3	70	80	110	120	23.67	0.413	0.017448	1884	32.9	10
47	1	80	90	100	110	37.98	17.109	0.450474	188.4	884.9	10
48	2	80	90	110	120	43.77	3.71	0.084761	753.6	63.9	10
49	1	90	100	110	120	61.26	20.17	0.329252	188.4	62.1	10

C1 = elektroda arus 1

C2 = elektroda arus 2

P1 = elektroda potensial 1

P2 = elektroda potensial 2

a = jarak spasi elektroda

k = faktor geometri

n = faktor pengali

ρ_a = resistivitas semu

Lokasi : Candi Kedulan, Kecamatan Kalasan

Hari : Sabtu

Tanggal : 17 Januari 2015

Nama Lintasan : Lintasan 3

Cuaca : Cerah

Koordinat : Awal Akhir

X $7^{\circ}44'33,42''$ LS $7^{\circ}44'33,88''$ LS

Y $110^{\circ}28'11,89''$ BT $110^{\circ}28'15,70''$ BT

No	n	C2	C1	P1	P2	I (mA)	V (mV)	R (ohm)	K	ρ_a	a
1	1	0	10	20	30	5	3.56	0.712	188.4	134	10
2	2	0	10	30	40	4.99	0.55	0.11	753.6	83	10
3	3	0	10	40	50	5	0.45	0.09	1884	170	10
4	4	0	10	50	60	5	0.12	0.024	3768	90	10
5	5	0	10	60	70	4.99	0.24	0.048	6594	317	10
6	6	0	10	70	80	4.99	0.06	0.012	10550.4	127	10
7	7	0	10	80	90	4.99	0.42	0.084	15825.6	1.332	10
8	1	10	20	30	40	4.99	4.14	0.83	188.4	156	10
9	2	10	20	40	50	4.99	0.64	0.128	753.6	97	10
10	3	10	20	50	60	4.99	0.52	0.104	1884	196	10
11	4	10	20	60	70	4.99	0.29	0.058	3768	219	10
12	5	10	20	70	80	4.99	0.24	0.048	6594	317	10
13	6	10	20	80	90	4.99	0.05	0.01	10550.4	106	10
14	7	10	20	90	100	4.99	0.09	0.018	15825.6	285	10
15	1	20	30	40	50	4.99	3.64	0.729	188.4	137	10
16	2	20	30	50	60	4.99	0.64	0.128	753.6	97	10
17	3	20	30	60	70	4.99	0.51	0.102	1884	193	10
18	4	20	30	70	80	4.99	0.24	0.048	3768	181	10
19	5	20	30	80	90	4.99	0.26	0.052	6594	344	10
20	6	20	30	90	100	4.99	0.004	0.001	10550.4	8	10
21	7	20	30	100	110	4.99	0.03	0.006	15825.6	95	10
22	1	30	40	50	60	4.99	3.84	0.77	188.4	145	10
23	2	30	40	60	70	4.99	0.7	0.14	753.6	106	10
24	3	30	40	70	80	4.99	0.31	0.062	1884	117	10
25	4	30	40	80	90	4.99	0.24	0.048	3768	181	10
26	5	30	40	90	100	4.99	2.2	0.441	6594	2.907	10
27	6	30	40	100	110	4.99	0.04	0.008	10550.4	85	10
28	7	30	40	110	120	4.99	0.03	0.006	15825.6	95	10

No	n	C2	C1	P1	P2	V (mV)	I (mA)	R (ohm)	k	ρ_a	a
29	1	40	50	60	70	4.99	0.136	0.027	188.4	5	10
30	2	40	50	70	80	5	0.57	0.114	753.6	86	10
31	3	40	50	80	90	5	0.35	0.07	1884	132	10
32	4	40	50	90	100	5	0.23	0.046	3768	173	10
33	5	40	50	100	110	5	0.16	0.032	6594	211	10
34	6	40	50	110	120	5	0.03	0.006	10550.4	63	10
35	1	50	60	70	80	5	3.06	0.612	188.4	115	10
36	2	50	60	80	90	5	0.65	0.13	753.6	98	10
37	3	50	60	90	100	5	0.5	0.1	1884	188	10
38	4	50	60	100	110	5	0.18	0.036	3768	136	10
39	5	50	60	110	120	5	0.155	0.031	6594	204	10
40	1	60	70	80	90	5	3.8	0.76	188.4	143	10
41	2	60	70	90	100	5	0.65	0.13	753.6	98	10
42	3	60	70	100	110	5	0.55	0.11	1884	207	10
43	4	60	70	110	120	5	0.23	0.046	3768	173	10
44	1	70	80	90	100	5	3.65	0.73	188.4	138	10
45	2	70	80	100	110	5	0.68	0.136	753.6	102	10
46	3	70	80	110	120	5	0.3	0.6	1884	113	10
47	1	80	90	100	110	5	3.25	0.65	188.4	122	10
48	2	80	90	110	120	5	0.7	0.14	753.6	106	10
49	1	90	100	110	120	5	3.55	0.71	188.4	134	10

C1 = elektroda arus 1

C2 = elektroda arus 2

P1 = elektroda potensial 1

P2 = elektroda potensial 2

a = jarak spasi elektroda

k = faktor geometri

n = faktor pengali

ρ_a = resistivitas semu

Lokasi : Candi Kedulan, Kecamatan Kalasan

Hari : Sabtu

Tanggal : 17 Januari 2015

Nama Lintasan : Lintasan 4

Cuaca : Cerah

Koordinat : Awal Akhir

X $7^{\circ}44'35,58''$ LS $7^{\circ}44'35,69''$ LS

Y $110^{\circ}28'11,84''$ BT $110^{\circ}28'15,79''$ BT

no	n	C2	C1	P1	P2	I (mA)	V (mV)	R (ohm)	K	ρ_a	α
1	1	0	10	20	30	33.38	19.328	0.581	188.4	109.394	10
2	2	0	10	30	40	1079.16	19.935	0.018	753.6	13.921	10
3	3	0	10	40	50	328.25	13.555	0.041	1884	77.79	10
4	4	0	10	50	60	351.85	7.518	0.021	3768	80.258	10
5	5	0	10	60	70	351.71	4.59	0.013	6594	85.722	10
6	6	0	10	70	80	352.08	2.591	0.007	10550.4	77.018	10
7	7	0	10	80	90	271.12	1.167	0.064	15825.6	1017.586	10
8	1	10	20	30	40	25.75	18.368	0.713	188.4	134.386	10
9	2	10	20	40	50	178.5	21.35	0.12	753.6	90.136	10
10	3	10	20	50	60	330.54	15.513	0.047	1884	88.36	10
11	4	10	20	60	70	334.57	8.516	0.025	3768	95.707	10
12	5	10	20	70	80	333.22	4.527	0.014	6594	89.019	10
13	6	10	20	80	90	269.42	2.025	0.007	10550.4	73.853	10
14	7	10	20	90	100	81.99	0.432	0.005	15825.6	83.243	10
15	1	20	30	40	50	138.05	96.894	0.702	188.4	132.219	10
16	2	20	30	50	60	164.27	191.261	1.164	753.6	877.423	10
17	3	20	30	60	70	305.94	14.496	0.047	1884	89.113	10
18	4	20	30	70	80	94	6.739	0.023	3768	86.363	10
19	5	20	30	80	90	110	2.4	0.022	6594	143.749	10
20	6	20	30	90	100	110	2.2	0.02	10550.4	211.008	10
21	7	20	30	100	110	128	1.2	0.094	15825.6	1483.65	10
22	1	30	40	50	60	117	79.6	0.68	188.4	128.112	10
23	2	30	40	60	70	121	9.7	0.08	753.6	60.413	10
24	3	30	40	70	80	121	6.9	0.057	1884	107.388	10
25	4	30	40	80	90	121	2.5	0.021	3768	77.621	10
26	5	30	40	90	100	121	2.1	0.017	6594	114.076	10
27	6	30	40	100	110	121	1.25	0.01	10550.4	108.669	10
28	7	30	40	110	120	121	1.9	0.015	15825.6	237.384	10

no	n	C2	C1	P1	P2	I (mA)	V (mV)	R (ohm)	K	ρ_a	a
29	1	40	50	60	70	116	95.1	0.819	188.4	154.3	10
30	2	40	50	70	80	118	1.5	0.013	753.6	9.58	10
31	3	40	50	80	90	120	5.4	0.045	1884	84.78	10
32	4	40	50	90	100	121	3.7	0.031	3768	114.924	10
33	5	40	50	100	110	122	0.1	0.001	6594	5.935	10
34	6	40	50	110	120	111	0.7	0.006	10550.4	66.468	10
35	1	50	60	70	80	77	60.1	0.78	188.4	146.952	10
36	2	50	60	80	90	77	10	0.13	753.6	97.87	10
37	3	50	60	90	100	77	4.5	0.058	1884	109.272	10
38	4	50	60	100	110	77	3.1	0.04	3768	150.72	10
39	5	50	60	110	120	76	1.4	0.018	6594	121.33	10
40	1	60	70	80	90	89	60.8	0.683	188.4	128.677	10
41	2	60	70	90	100	89	14.4	0.162	753.6	121.931	10
42	3	60	70	100	110	89	5.2	0.058	1884	110.026	10
43	4	60	70	110	120	89	1.5	0.017	3768	63.302	10
44	1	70	80	90	100	90	82.4	0.915	188.4	172.386	10
45	2	70	80	100	110	97	14.9	0.154	753.6	115.759	10
46	3	70	80	110	120	78	4.8	0.061	1884	114.924	10
47	1	80	90	100	110	125	80.5	0.644	188.4	121.33	10
48	2	80	90	110	120	125	13.3	0.106	753.6	80.183	10
49	1	90	100	110	120	80	50.9	0.063	188.4	11.869	10

C1 = elektroda arus 1

C2 = elektroda arus 2

P1 = elektroda potensial 1

P2 = elektroda potensial 2

a = jarak spasi elektroda

k = faktor geometri

n = faktor pengali

ρ_a = resistivitas semu

LAMPIRAN 2

KONFIGURASI ELEKTRODA

Konfigurasi elektroda memiliki nilai k (faktor geometri) yang berbeda-beda.

Penelitian ini menggunakan konfigurasi dipol-dipol dengan nilai k sebesar:

$$k = \frac{2\pi}{\left[\left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2}\right) - \left(\frac{1}{r_3} - \frac{1}{r_4}\right)\right]}$$

Untuk memperoleh faktor konfigurasi pemasangan elektroda dipol-dipol dengan memasukkan :

$$r_1 = C1P1 = na ; r_2 = C2P1 = (na+a)$$

$$r_3 = C1P2 = (na+a) ; r_4 = C2P2 = (na+2a)$$

Sehingga diperoleh nilai k :

$$k = 2\pi \left\{ \left[\left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} \right) - \left(\frac{1}{r_3} - \frac{1}{r_4} \right) \right]^{-1} \right\}$$

$$k = 2\pi \left\{ \left[\left(\frac{1}{C_1P_1} - \frac{1}{C_2P_1} \right) - \left(\frac{1}{C_1P_2} - \frac{1}{C_2P_2} \right) \right]^{-1} \right\}$$

$$k = 2\pi \left\{ \left(\frac{1}{na} - \frac{1}{(na+a)} \right) - \left(\frac{1}{(na+a)} - \frac{1}{(na+2a)} \right) \right\}^{-1}$$

$$k = 2\pi \left\{ \left(\frac{(na+a)-na}{na(na+a)} \right) - \left(\frac{(na+2a)-(na+a)}{(na+a)(na+2a)} \right) \right\}^{-1}$$

$$k = 2\pi \left\{ \left(\frac{a}{na(na+a)} \right) - \left(\frac{a}{(na+a)(na+2a)} \right) \right\}^{-1}$$

$$k = 2\pi \left\{ \left(\frac{a}{(na)^2 + na^2} \right) - \left(\frac{a}{(na)^2 + 3na^2 + 2a^2} \right) \right\}^{-1}$$

$$k = 2\pi \left\{ \left(\frac{a}{(n^2+n)a^2} \right) - \left(\frac{a}{(n^2+3n+2)a^2} \right) \right\}^{-1}$$

$$k = 2\pi \left\{ \left(\frac{1}{(n^2+n)a} \right) - \left(\frac{1}{(n^2+3n+2)a} \right) \right\}^{-1}$$

$$k = 2\pi \left\{ \frac{1}{a} \left(\frac{1}{(n^2+n)} \right) - \left(\frac{1}{(n^2+3n+2)} \right) \right\}^{-1}$$

$$k = 2\pi a \left\{ \left(\frac{n^2+3n+2-n^2-n}{(n^2+n)(n^2+3n+2)} \right) \right\}^{-1}$$

$$k = 2\pi a \left\{ \left(\frac{2n+2}{n^4+4n^3+5n^2+2n} \right) \right\}^{-1}$$

$$k = 2\pi a \left\{ \frac{2}{n} \left(\frac{n+1}{n^3+4n^2+5n+2} \right) \right\}^{-1}$$

$$k = 2\pi a \times \frac{n}{2} \left\{ \left(\frac{n+1}{n^3+4n^2+5n+2} \right) \right\}^{-1}$$

$$k = \pi a n \left\{ \left(\frac{n+1}{(n^2+3n+2)(n+1)} \right) \right\}^{-1}$$

$$k = \pi a n (n^2 + 3n + 2)$$

$$k = \pi a n (n + 2)(n + 1)$$

Jadi, faktor geometri untuk konfigurasi *Dipole-Dipole* adalah

$$k = \pi a n (n + 2)(n + 1)$$

Perhitungan nilai R , k , dan ρ_a

Pemerolehan nilai hambatan R dapat menggunakan persamaan 2,

Diketahui

$$R = \frac{V}{I} = \frac{288}{99} = 2,91 \, \Omega$$

Nilai k (faktor geometri) menggunakan persamaan 24

$$k = \pi a n (n + 2)(n + 1)$$

$$k = 3,14 \cdot 10 \cdot 1(1 + 2)(1 + 1)$$

$$k = 188,40$$

Nilai ρ_a diperoleh menggunakan persamaan 22

$$\rho_a = R \times k = 2,91 \times 188,40 = 548,07 \, \Omega\text{m}$$

LAMPIRAN 3

Pengolahan Data Geolistrik

Pengolahan data geolistrik dengan menggunakan konfigurasi *dipole-dipole* dilakukan dengan langkah-langkah sebagai berikut :

- Langkah pertama yaitu menyiapkan terlebih dahulu data dalam bentuk Microsoft Excel kemudian melakukan pengolahan data dimulai dengan membagi nilai V dengan nilai I untuk menghasilkan nilai R . Kemudian dilanjutkan dengan menghitung nilai k atau faktor geometri, $k = \pi a n (n + 2)(n + 1)$ dengan a adalah spasi elektroda. Selanjutnya menghitung nilai tahanan jenis ρ dengan mengalikan nilai R dan k .
- Langkah kedua, dari data-data Microsoft excel dipindah ke *software notepad* untuk disimpan dengan format **.dat*, agar dapat terbaca dalam *software res2dinv*. Adapun sebelum kita menjalankan *software res2dinv* terlebih dahulu data yang kita akan interpretasi ditulis ke dalam *notepad* dengan susunan penulisan sebagai berikut :
 - Line 1 adalah Nama Survei >>> (Lintasan 1)
 - Line 2 adalah spasi elektroda (a) >>> (10)
 - Line 3 adalah Jenis susunan konfigurasi yang digunakan ($Wenner=1, pole-pole=2, dipole-dipole=3, pole-dipole=6, schlumberger=7$)>>> (3)
 - Line 4 adalah jumlah total data pengukuran (datum point)>>>(49)
 - Line 5 adalah lokasi data untuk data pengukuran (datum point)>>>(1)
 - Line 6 ketik 0>>>(0) kode untuk menggunakan data resistivitas

- Line 7 adalah memasukkan data pengukuran dan perhitungan yaitu jarak elektroda arus (s) [jarak antara titik pusat dengan elektroda arus], jarak antara dua elektroda potensial (C1 dan C2), lintasan pengukuran ($n1$, $n2$, $n3$, $n4$) dan nilai resistivitas semu yang diperoleh dari perhitungan (ditulis berurutan) begitu pula untuk data berikutnya. Tampilan data program *notepad* ditunjukkan pada Gambar L.1.

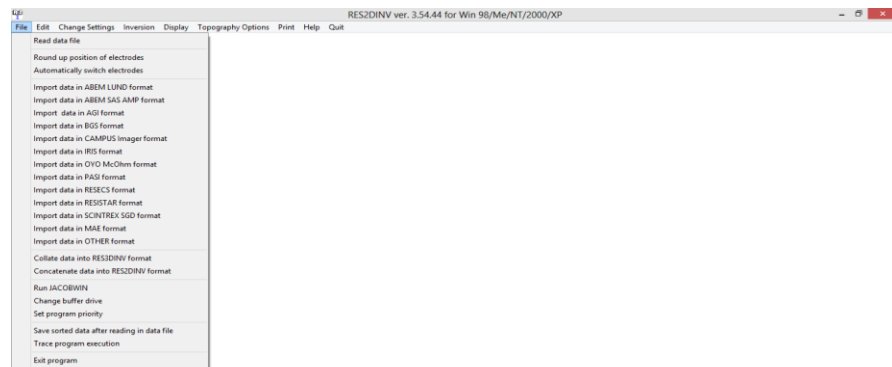
```

File Edit Format View Help
line 1 - Notepad
Lintasan 1
10
3
45
1
0
15 10 1 548.8727273
25 10 1 431.9178213
35 10 1 239.4853846
45 10 1 335.144628
55 10 1 289.8974648
65 10 1 285.1921739
75 10 1 134.4161538
85 10 1 313.1828571
95 10 1 186.8483181
105 10 1 226.7989434
20 10 2 262.8837289
30 10 2 141.4812983
40 10 2 112.6878505
50 10 2 95.39248586
60 10 2 119.758127
70 10 2 81.22133333
80 10 2 187.888263
90 10 2 185.9113514
180 10 2 118.8369231
25 10 3 145.3813884
35 10 3 112.2163934
45 10 3 189.9
55 10 3 108.4847619
65 10 3 111.5526316
75 10 3 98.81333333
85 10 3 148.6266197
95 10 3 45.82782783
30 10 4 25.67518619
40 10 4 63.38891589
50 10 4 89.91818182
60 10 4 151.248242
70 10 4 137.8181818
80 10 4 31.83858824
90 10 4 12.99318345
35 10 5 167.7421853
45 10 5 58.72387832
55 10 5 42.54193548
65 10 5 42.8893617
75 10 5 78.88684211
85 10 5 96.712
40 10 6 111.8568421
50 10 6 92.316
60 10 6 824.25
70 10 6 76.26785181

```

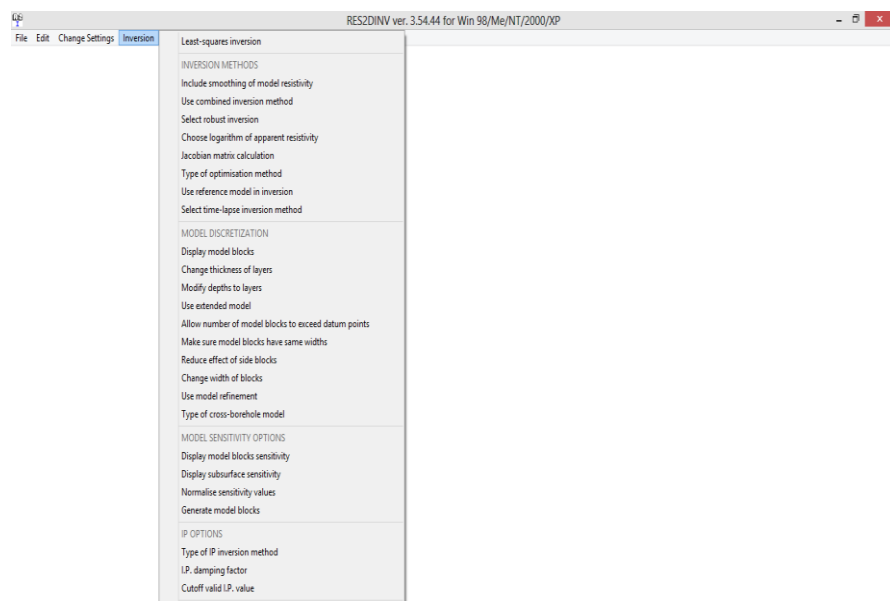
Gambar L.1. Tampilan data pada program *notepad*

- Line 56 hingga line 59 >>> (0) line penutup
- Langkah ketiga yaitu menjalankan program *res2dinv* sebagai berikut :
 1. Pertama, sebelum proses inversi dilakukan maka terlebih dahulu dilakukan proses *read data file*. Pilih *File>>Read Data File* dan klik, kemudian ketika ada pertanyaan klik OK, ditunjukkan seperti pada Gambar L.2.



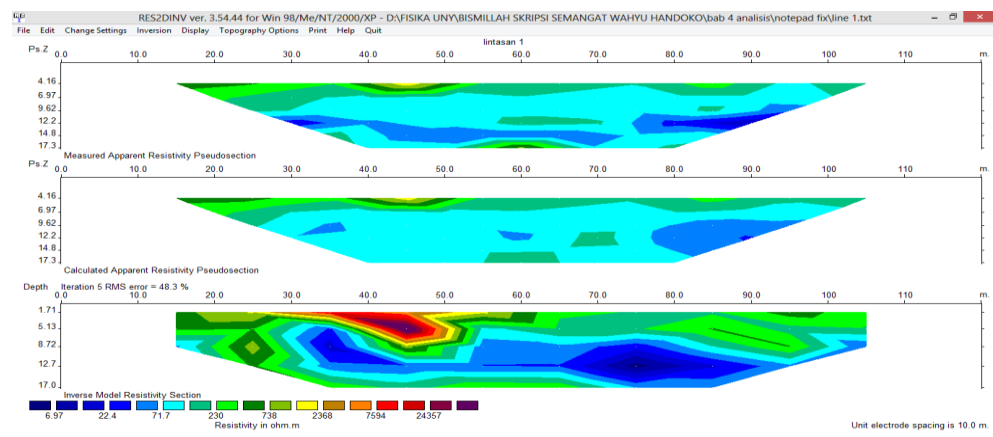
Gambar L.2. Proses *Read Data*

2. Kemudian akan muncul jendela "*input 2D resistivity data file*", pada kolom "*file name*" masukkan file (line 1.txt). Setelah itu klik "*Open*". Pastikan muncul tampilan "*Reading of data file completed*".
3. Selanjutnya adalah melakukan inversi. Dengan memilih *Inversion>>>least squares inversion*. Ditunjukkan seperti pada Gambar L.3.



Gambar L.3. Proses Inversi

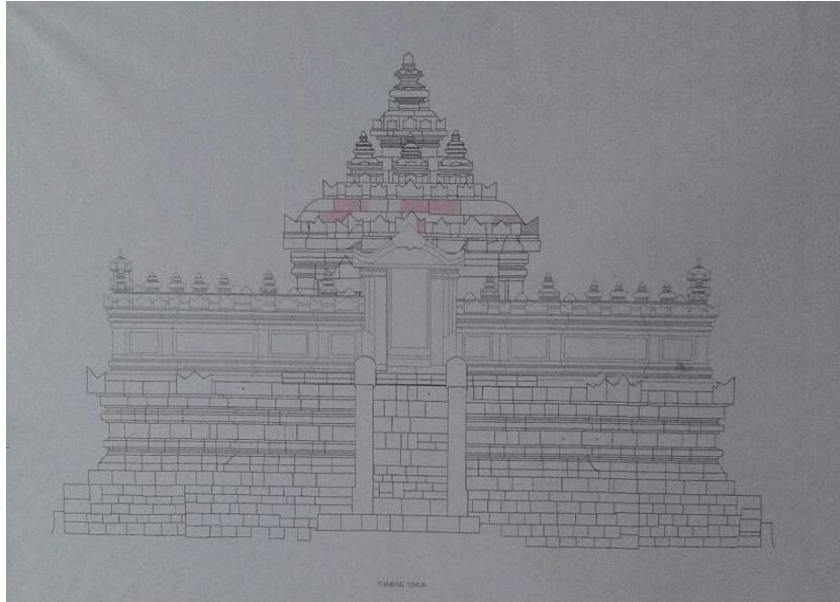
4. Kemudian akan muncul jendela “File name for inversion results” (line 1.inv), kemudian “save” sehingga muncul penampang *Pseudosection 2D*. Ditunjukkan seperti Gambar L.4.



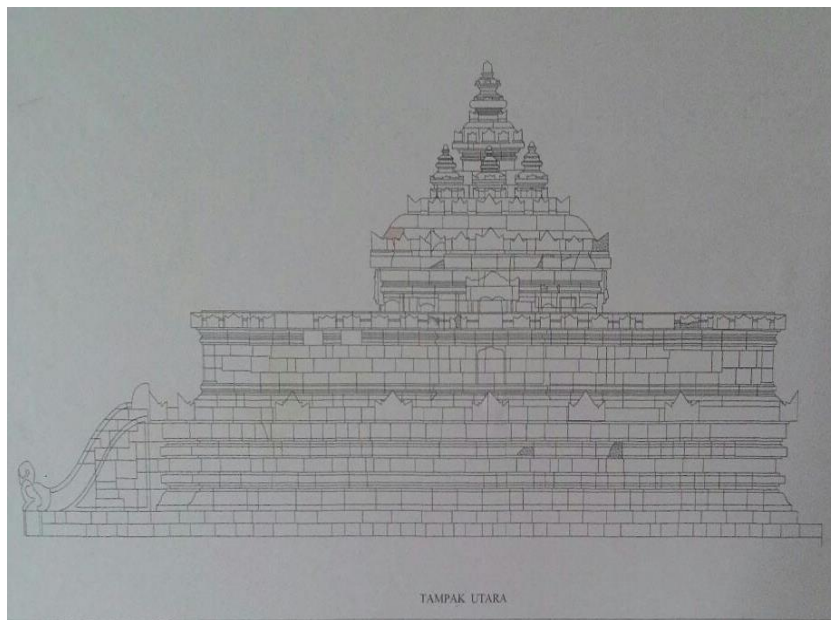
Gambar L.4. Penampang 2D *Res2Dinv*

5. Jika hasil inversi yang dilakukan masih belum memuaskan maka dapat dilakukan pengeditan. Pilih **Edit** >>> *terminate bad datum points* >>> **OK** (penghilangan data ini dimaksudkan untuk menghilangkan data yang dianggap buruk yang dapat mengganggu model, sehingga RMS Errors yang diperoleh semakin kecil).
6. Jika model yang diperoleh sudah memuaskan kita dapat menyimpannya dalam file gambar (*.bmp). **Print** >>> *save screen as bmp file*.
7. Kemudian akan muncul jendela “output bmp file”, pada kolom “file name” ketik nama *file* gambar yang diinginkan kemudian tekan “save”
Kemudian klik “OK”.
- Langkah terakhir adalah menginterpretasi dari hasil yang telah didapat dan selanjutnya membuat sebuah kesimpulan.

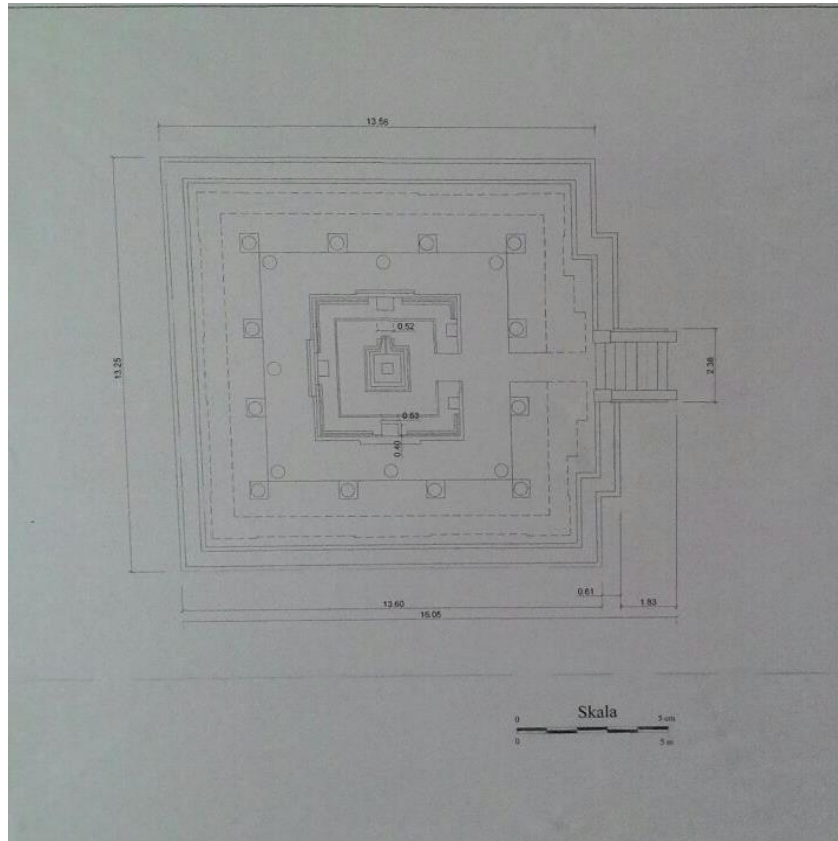
LAMPIRAN 4
SKETSA CANDI KEDULAN



Gambar L.5. Sketsa candi induk tampak timur (Potret dokumen pribadi)



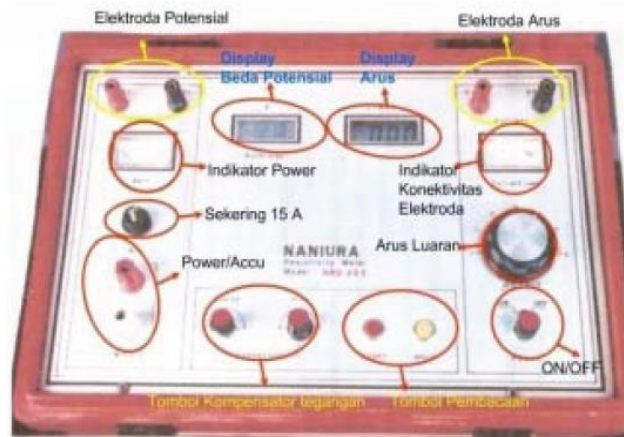
Gambar L.6. Sketsa candi induk tampak utara (Potret dokumen pribadi)



Gambar L.8. Sketsa denah candi induk tampak atas (Potret dokumen pribadi)

LAMPIRAN 5

SPESIFIKASI NANIURA NRD 22S



Gambar L.8. Spesifikasi Naniura NRD 22S

Pemancar (Transmitter)

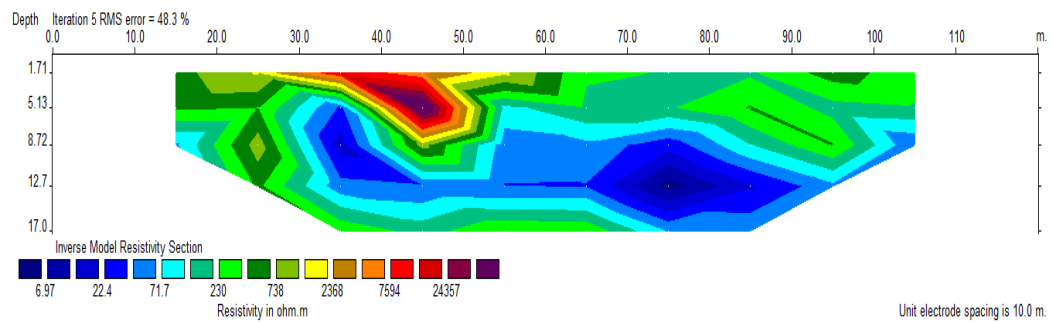
Pemancar (Transmitter)	Spesifikasi
1. Catu Daya	12/24 volt, minimal 6AH
2. Daya	200 Watt untuk catu daya 12 volt 300 Watt untuk catu daya 24 volt
3. Tegangan Keluar	350 volt maksimum untuk catu daya 12 volt 450 volt maksimum untuk catu daya 24 volt
4. Arus Keluar	Maksimum 2000 mA
5. Ketelitian Arus	1 mA
Penerima (receiver)	Spesifikasi
1. Impedansi	10 M-ohm
2. Batas ukur pembacaan	0,1 mV hingga 500 V
3. Ketelitian	0,1 mV
4. Kompensator Kasar	10x putar
5. Kompensator Halus	1x putar

Dan dilengkapi dengan:

1. Dua buah elektroda arus.
2. Dua buah elektroda potensial.
3. Dua gulungan kabel (elektroda arus) sepanjang ± 100 meter.
4. Dua gulungan kabel (elektroda potensial) sepanjang ± 100 meter.
5. Dua buah palu untuk menanam elektroda.
6. Satu buah Aki

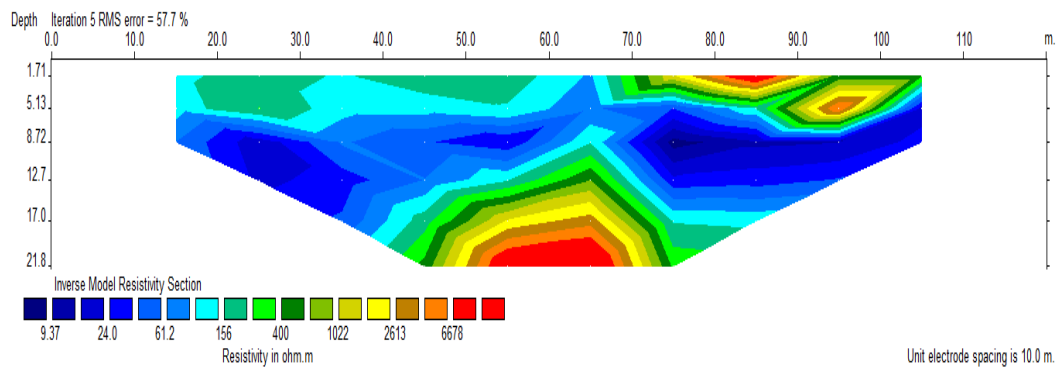
LAMPIRAN 6
HASIL PENGOLAHAN
Software Res2dinv

Lintasan 1



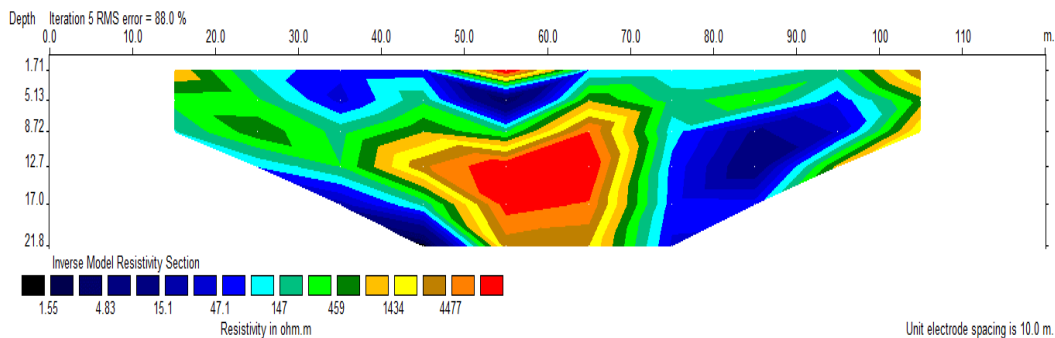
Gambar L.9. Penampang 2D lintasan 1 iterasi 5

Lintasan 2



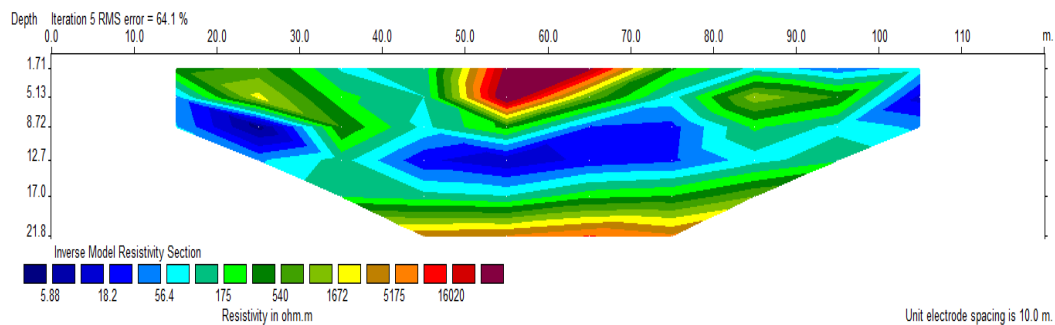
Gambar L.10. Penampang 2D lintasan 2 iterasi 5

Lintasan 3



Gambar L.11. Penampang 2D lintasan 3 iterasi 5

Lintasan 4



Gambar L.12. Penampang 2D lintasan 4 iterasi 5

LAMPIRAN 7

DOKUMENTASI



