

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Indonesia telah dikenal dunia sebagai salah satu negara yang memiliki berbagai peninggalan sejarah. Salah satu contohnya adalah berupa candi peninggalan kerajaan masa lalu. Candi-candi di Indonesia tersebar di berbagai wilayah dan memiliki karakteristik tersendiri. Salah satu peninggalan candi yang terletak di kawasan Malang adalah Candi Kidal.

Indonesia rawan akan bencana alam karena adanya lempeng tektonik aktif dan deretan gunung berapi di wilayah Indonesia, maka peninggalan sejarah termasuk candi dapat mengalami kerusakan. Kerusakan pada candi umumnya adalah keretakan ataupun terpisah dari badan utama candi. Dimungkinkan terdapat bagian candi tersebut tertimbun tanah akibat adanya aktifitas gunung api maupun tektonik. Oleh karena itu diperlukan penelitian bawah permukaan guna mengetahui struktur bawah permukaan sekitar candi.

Studi bawah permukaan dapat dilakukan dengan menggunakan metode geolistrik resistivitas. Prinsip dasar geolistrik resistivitas yaitu memanfaatkan sifat hantaran listrik batuan dan geologinya. Prinsip kerja geolistrik ini yaitu dengan menginjeksikan arus listrik melalui suatu elektrode sehingga akan diperoleh beda potensial dari lapisan tanah tersebut. Hasil akhir dari metode geolistrik resistivitas adalah nilai resistivitas bawah permukaan. Nilai resistivitas ini dapat digunakan untuk menduga jenis lapisan tanah dan akuifer (Gunawan,2011).

Dalam penelitian kali ini, metode geolistrik digunakan untuk menduga struktur bawah permukaan di sekitar Candi Kidal yang terletak di Kecamatan Tumpang, Jawa Timur. Konfigurasi yang digunakan yaitu konfigurasi dipole-dipole. Pendugaan struktur bawah permukaan Candi Kidal dapat dijadikan referensi dalam pemugaran dan perawatan Candi Kidal sehingga kebudayaan sejarah Indonesia akan selalu ada dan terjaga.

Diharapkan dengan dilakukannya penelitian ini dapat memberikan informasi mengenai struktur bawah permukaan di sekitar candi kidal sehingga dapat dilakukan penanganan lebih lanjut oleh pemerintah. Penelitian ini diharapkan dapat menjadi rujukan

pentingnya menjaga kebudayaan yang telah diturunkan oleh bangsa Indonesia.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang , maka rumusan masalah yang akan dibahas dalam skripsi ini yaitu bagaimana kondisi struktur bawah permukaan sekitar Candi Kidal dengan menggunakan metode geolistrik konfigurasi dipole-dipole. Bagaimana mengetahui lapisan penyusun bawah permukaan Candi Kidal dari nilai tahanan jenis batuan yang ada dan dilakukan analisa dalam menentukan variasi batuan penyusun lapisan tersebut serta apakah ada korelasi antara tiap-tiap lintasan yang digunakan.

1.3 Batasan Masalah

Masalah yang akan dibahas pada penelitian ini dibatasi pada pengukuran dilakukan di sekitar Candi Kidal. Pembahasan dibatasi pada pendugaan struktur bawah permukaan menggunakan metode geolistrik resistivitas konfigurasi dipole-dipole serta pengolahan data menggunakan *software Microsoft Excel*, dan *Res2Dinv*.

1.4 Tujuan Penelitian

Ada beberapa tujuan dari penelitian tugas akhir ini yaitu:

1. Untuk mencari informasi variasi resistivitas bawah permukaan pada daerah Candi Kidal.
2. Untuk mengetahui komposisi lapisan penyusun struktur bawah permukaan Candi Kidal.
3. Untuk mengetahui korelasi antar lapisan di bawah permukaan Candi Kidal.

1.5 Manfaat penelitian

Hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan informasi mengenai struktur bawah permukaan Candi Kidal. Jika terdapat bagian-bagian candi yang masih tertimbun tanah maka dapat ditindak lanjuti oleh pemerintah dengan melakukan pemugaran konstruksi lebih detail.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Candi Kidal

Candi Kidal berlokasi di Desa Rejokidal, Kecamatan Tumpang, Kabupaten Malang. Dari arah timur Kota Malang, Candi Kidal Sekitar 20 km. Candi Kidal merupakan Candi pemujaan tertua di kawasan Jawa Timur, hal ini dapat diketahui karena Kerajaan Kahuripan (11-12 M) dan Kerajaan Kediri (12 -13 M) hanya meninggalkan Candi Belahan dan Jalatunda yang merupakan pertitaan atau pemandian. Candi Kidal dibangun pada tahun 1248 yang bertujuan agar Raja Anusapati mendapat kemuliaan sebagai Syiwa Mahadewa.

Semua bagian Candi Kidal tersusun atas batuan andesit dan berbentuk geometris vertical. Disekitar candi terdapat susunan batuan yang difungsikan sebagai pagar. Pintu candi terdapat disebelah barat yang dihiasi oleh kepala kara (Wiki¹, 2011).



Gambar 2.1 Candi Kidal (PNRI, 2011)

2.2 Resistivitas Batuan

2.2.1 Sifat listrik dalam batuan

Di dalam mineral dan batuan, aliran listrik dapat dikelompokkan menjadi tiga jenis yaitu konduksi secara elektronik, konduksi secara elektrolitik dan konduksi secara dielektrik. Ketiga jenis ini dapat dijelaskan sebagai berikut:

a. Konduksi secara elektronik

Konduksi secara elektronik terjadi jika batuan dan mineral mempunyai banyak elektron bebas, sehingga arus listrik akan dialirkan oleh elektron-elektron bebas tersebut. Aliran listrik ini juga dipengaruhi oleh sifat dan karakteristik batuan dan mineral. Salah satu karakteristiknya yaitu resistivitas atau tahanan jenis. Resistivitas menunjukkan kemampuan batuan dan mineral untuk menghantarkan arus listrik. Semakin besar nilai resistivitas maka semakin sulit arus listrik untuk melewati batuan dan mineral. Sebaliknya semakin kecil nilai resistivitas maka semakin mudah arus listrik untuk melewatinya. Resistivitas memiliki pengertian yang berbeda dengan resistansi atau hambatan, dimana resistansi bergantung pada faktor geometri sedangkan resistivitas tidak bergantung pada faktor geometri.

b. Konduksi secara elektrolitik

Sebagian besar batuan tergolong konduktor yang buruk atau sulit menghantarkan arus listrik dan efeknya memiliki resistivitas yang tinggi. Tetapi pada kenyataannya batuan bersifat porus dan memiliki pori-pori yang terisi oleh fluida yang pada umumnya adalah air. Dan akibatnya batuan tersebut akan menjadi konduktor elektrolitik, dimana konduksi arus listrik akan diteruskan oleh pori-pori yang terisi fluida tersebut. Ion-ion elektrolitik akan meneruskan arus listrik yang dikonduksikan. Konduktivitas dan resistivitas batuan porus bergantung pada volume serta susunan pori-pori dalam batuan. Semakin besar kandungan air dalam batuan maka konduktivitas akan semakin besar, sedangkan semakin kecil kandungan air maka semakin kecil pula nilai konduktivitasnya.

c. Konduksi secara dielektrik

Konduksi secara dielektrik terjadi jika batuan dan mineral memiliki elektron bebas yang sedikit atau bahkan tidak memiliki elektron bebas sama sekali. Elektron dalam batuan dan mineral berpindah dan berkumpul dalam inti akibat pengaruh medan listrik di

luar sehingga akan terjadi polarisasi. Peristiwa ini bergantung konduksi dielektrik batuan (Wuryantoro, 2007).

2.2.2 Nilai resistivitas batuan

Menurut (Dobrin, 1998) hambatan jenis atau resistivitas merupakan daya hambat batuan terhadap aliran listrik. Resistivitas merupakan kebalikan dari konduktivitas batuan. Batuan pada umumnya memiliki sifat kelistrikan berupa konduktivitas, resistivitas dan konstanta dielektrik.

Dari semua sifat fisika batuan dan mineral, resistivitas memiliki variasi harga yang cukup banyak. Pada mineral-mineral logam memiliki harga resistivitas berkisar $10^{-8} \Omega m$ hingga $10^7 \Omega m$, begitu juga dengan batuan dan mineral yang lain. Dengan komposisi penyusun yang berbeda maka akan menghasilkan kisaran harga resistivitas yang berbeda pula. Untuk kisaran harga resistivitas yang mungkin adalah $1,6 \times 10^{-8}$ (perak asli) hingga $10^{16} \Omega m$ (belerang murni).

Konduktor didefinisikan sebagai bahan yang mempunyai harga resistivitas kurang dari $10^{-8} \Omega m$, dan isolator didefinisikan sebagai bahan yang memiliki resistivitas lebih dari $10^7 \Omega m$. Sedangkan diantara kisaran harga tersebut termasuk dalam semikonduktor. Di dalam konduktor memiliki banyak elektron bebas yang memiliki mobilitas yang tinggi. Sehingga dapat menghantarkan aliran listrik lebih mudah. Sedangkan semikonduktor memiliki jumlah elektron bebas yang lebih sedikit. Untuk isolator dicirikan oleh adanya ikatan ionik yang mengakibatkan elektron valensi tidak dapat bergerak bebas.

Pada umumnya, berdasarkan harga resistivitas listriknya, batuan dan mineral dapat dikelompokkan menjadi tiga, yaitu:

1. Konduktor baik : $10^{-8} < \rho < 1 \Omega m$
2. Konduktor pertengahan : $1 < \rho < 10^7 \Omega m$
3. Isolator : $\rho > 10^7 \Omega m$ (Telford dkk, 1982)

2.2.3 Nilai resistivitas batuan dan material

Setiap batuan dan material memiliki kisaran nilai resistivitas yang spesifik. Berikut adalah tabel nilai kirasaran resisvitas pada batuan.

Tabel 2.1 Kisaran nilai resistivitas batuan dan material

Jenis Batuan	Resistivitas (ohm-m)
Gambut dan lempung	8 – 50
Lempung pasiran dan lapisan kerikil	40 – 250
Pasir dan kerikil jenuh	40 – 100
Pasir dan kerikil kering	100 – 3000
Batu lempung, napal dan serpih	8 – 100
Batu pasir dan batu kapur	100 – 4000
Pirit	0,01 – 100
Kwarsa	500 - 800.000
Kalsit	$1 \times 10^{12} - 1 \times 10^{13}$
Batuan Garam	$30 - 1 \times 10^{13}$
Garnit	200 - 100.000
Andesit	$1,7 \times 10^2 - 45 \times 10^4$
Basal	200 - 100.000
Gamping	500 - 10.000
Shale	20 - 2.000
Pasir	1 - 1.000
Lempung	1 – 100
Air Tanah	0,5 – 300
Air Asin	0,2
Kerikil Kering	600 - 10.000
Alluvium	10 – 800
Kerikil	100 – 600

(Verhoef, 1994)

2.3 Geolistrik

2.3.1 Metode geolistrik

Metode Geolistrik merupakan salah satu metode dalam ilmu Geofisika untuk menggambarkan penyebaran tahanan jenis bawah permukaan, mempelajari sifat aliran listrik di dalam bumi dengan

cara mendeteksinya di permukaan. Pendeteksian di atas permukaan meliputi pengukuran medan potensial, arus dan elektromagnetik yang terjadi secara alamiah maupun penginjeksian arus kedalam bumi. Metode Geolistrik menggunakan 3 fenomena alam yang berhubungan dengan kondisi batuan di dalam bumi. Ketiga fenomena alam tersebut adalah:

a. Resistivitas (tahanan jenis)

Resistivitas merupakan kebalikan dari konduktivitas yang bergantung pada arus dan beda potensial. Beda potensial dihasilkan setelah dilakukan pemasangan arus pada titik ukur.

b. Aktifitas elektrokimia

Aktifitas elektrokimia terjadi karena adanya elektrolit di dalam bumi dan merupakan dasar pendeteksian anomali bumi yang menggunakan metode magnetik, potensial diri dan induksi polarisasi.

c. Konstanta dielektrik

Konstanta dielektrik memberikan kapasitas atau kandungan batuan material dalam menyimpan muatan listrik dan mendapatkan informasi tentang formasi batuan dengan memberi arus ke dalam bumi agar bumi bersifat konduktif ataupun induktif.

Metode geolistrik dapat dikelompokkan menjadi dua yang berdasar pada asal sumber arus listrik. Kedua metode tersebut adalah:

a. Metode aktif

Metode aktif merupakan metode dimana arus listrik dengan sengaja diinjeksikan ke dalam bumi dan efek potensial yang timbul akibat arus buatan tersebut diukur di permukaan bumi. Metode yang termasuk metode aktif adalah metode tahanan jenis dan metode induksi polarisasi (IP).

b. Metode pasif

Metode pasif merupakan metode yang menggunakan arus alami yang terjadi akibat adanya proses elektrokimia yang terjadi dalam batuan. Metode yang termasuk metode pasif adalah *Self Potential*.

2.3.2 Geolistrik resistivitas

Metode geolistrik resistivitas merupakan salah satu survei geolistrik yang dapat digunakan dalam eksplorasi geofisika bawah permukaan. Metode ini memanfaatkan sifat resistivitas batuan dan mineral guna mendeteksi dan memetakan struktur dan formasi bawah permukaan. Hal ini dapat dilakukan dengan melakukan pengukuran beda potensial yang ditimbulkan dari injeksi langsung arus listrik ke dalam bumi. Metode pendeteksian dilakukan di atas permukaan dengan menginjeksikan arus listrik ke dalam bumi dengan menggunakan dua elektroda arus dan dua elektroda potensial.

Variasi harga resistivitas pada masing-masing titik ukur dapat diketahui dari hasil pengukuran arus dan beda potensial untuk setiap jarak tertentu. Dengan lapisan batuan sebagai media penghantar arus listrik yang diinjeksikan. Dan berdasarkan nilai resistivitas listrik tersebut maka dapat diketahui material penyusun dari struktur bawah permukaan bumi (Gunawan, 2001). Untuk mengetahui struktur bawah permukaan yang lebih dalam, maka jarak masing-masing elektroda arus dan elektroda potensial ditambah secara bertahap. Semakin besar spasi/jarak elektroda arus maka efek penembusan arus ke bawah makin dalam, sehingga batuan yang lebih dalam akan dapat diketahui sifat-sifat fisisnya.

Metode geolistrik resistivitas dilakukan dengan menginjeksikan arus listrik ke permukaan bumi. Dari arus listrik tersebut kemudian diukur beda potensial pada dua buah elektrode potensial. Pada keadaan tertentu, pengukuran akan menghasilkan variasi resistansi yang dapat memberikan informasi mengenai struktur bawah permukaan suatu daerah.

Metode geolistrik resistivitas memiliki tujuan untuk mengetahui struktur dan keadaan geologi bawah permukaan dengan menggunakan harga resistivitas batuan yang diperoleh saat penelitian dan dibandingkan dengan harga resistivitas batuan pada literatur, sebab resistivitas ini bukanlah nilai sebenarnya melainkan resistivitas semu dan masih bergantung pada ukuran dan geometri. Besaran ini tidak bisa diartikan sebagai suatu harga rata-rata. Setelah mengetahui variasi harga tahanan jenis semu batuan bawah permukaan maka dapat mencerminkan adanya perbedaan jenis lapisan batuan, sebab harga resistivitas semu yang terukur tersebut dipengaruhi oleh adanya perbedaan harga tahanan jenis masing-masing lapisan batuan

bawah permukaan. Metode geolistrik resistivitas sangat baik digunakan untuk eksplorasi dangkal, contohnya untuk pendeteksian air bawah tanah serta untuk eksplorasi lingkungan (Geocis, 2011).

Sifat fisika yang terlibat dalam metode ini adalah konduktivitas listrik, sifat konduktivitas listrik batuan dekat permukaan bumi sangat dipengaruhi oleh jumlah air, dan bagaimana cara air didistribusikan dalam batuan. Batuan berpori yang berisi air berpengaruh pada nilai resistivitas listrik, semakin bertambah kandungan air maka semakin kecil harga resistivitas listriknya (Gunawan, 2001).

Metode resistivitas didasarkan pada kenyataan bahwa sebagian dari arus listrik yang diberikan pada lapisan tanah, menjalar ke dalam tanah pada kedalaman tertentu dan bertambah besar dengan bertambahnya jarak antar elektroda, sehingga jika sepasang elektroda diperbesar jaraknya, distribusi potensial pada permukaan bumi akan semakin membesar dengan nilai resistivitas yang bervariasi (Vingoe, 1972).

Menurut (Robinson, 1988), terdapat beberapa asumsi dasar yang digunakan dalam metode geolistrik resistivitas, yaitu :

1. Bawah permukaan tanah terdiri dari beberapa lapisan yang dibatasi oleh bidang batas horizontal serta terdapat kontras resistivitas antara bidang batas pelapisan tersebut.
2. Tiap lapisan mempunyai ketebalan tertentu, kecuali untuk lapisan terbawah ketebalannya tak terhingga.
3. Tiap lapisan dianggap bersifat homogen isotropik.
4. Tidak ada sumber arus selain arus yang diinjeksikan di atas permukaan bumi.
5. Arus listrik yang diinjeksikan adalah arus listrik searah.

Tiap lapisan penyusun bumi merupakan suatu material batuan yang mempunyai hambatan jenis berbeda. Resistivitas tanah tergantung sekali dengan parameter-parameter geologi yang bermacam-macam seperti mineral dan cairan yang dikandungnya, porositas dan derajat saturasi air dalam batuan.

Prinsip dasar yang digunakan dalam metode resistivitas adalah Hukum Ohm. Untuk mengeluarkan energi yang tersimpan dalam baterai diperlukan penghubung (konduktor) diantara kedua terminalnya. Apabila ditambahkan sebuah resistor maka akan terjadi perubahan potensial pada ujung-ujung hambatan tersebut. Hubungan

antara resistor, arus dan beda potensial oleh George Simon Ohm (1827) dinyatakan dalam persamaan:

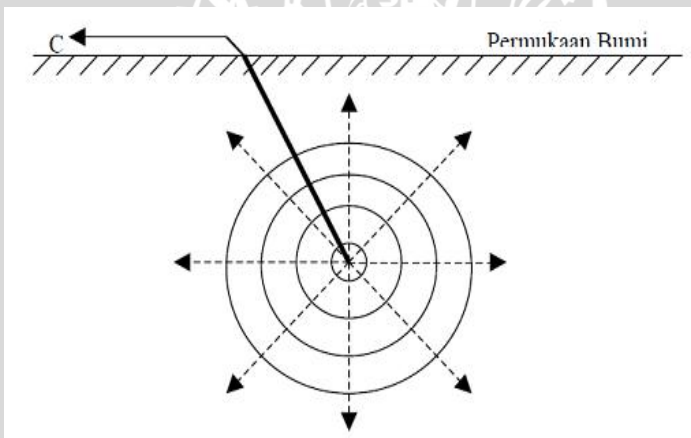
$$I = \frac{V}{R} \quad (2.1)$$

Dimana besarnya arus listrik yang mengalir pada suatu penghantar, berbanding lurus dengan beda potensial antara kedua ujung penghantar, dan dipengaruhi oleh jenis penghantarnya.

2.3.3 Potensial listrik dalam medium homogen

Interpretasi geolistrik resistivitas menggunakan asumsi bahwa bumi bersifat homogen isotropis yaitu memiliki hambatan jenis dan konduktifitas sama untuk ke segala arah dari arus listrik.

Arus diinjeksikan dalam bumi akan menyebar ke segala arah dan permukaan-permukaan ekuipotensial dalam bumi berbentuk permukaan bola.



Gambar 2.2 Titik arus dalam bumi homogen (Telford dkk, 2005)

Apabila medium homogen dialiri arus listrik searah I (diberi medan listrik), maka elemen arus δI yang melewati elemen luas δA yang mempunyai kerapatan arus J adalah

$$\delta I = J \cdot \delta A \quad (2.2)$$

Menurut hukum Ohm, rapat arus J dan medan listrik E mempunyai hubungan

$$J = \sigma \cdot E \quad (2.3)$$

dimana σ merupakan konduktivitas bahan (Mhos/meter) dan E merupakan medan listrik (volt/meter).

Medan listrik merupakan besaran vektor, sehingga digunakan operator diferensial vektor

$$E = -\nabla V \quad (2.4)$$

maka persamaan (2.3) dapat dirubah menjadi

$$J = -\sigma \nabla V \quad (2.5)$$

Arus listrik yang mengalir pada medium homogen akan memenuhi hukum kontinuitas untuk arus dan didasarkan pada prinsip kekekalan muatan

$$\nabla \cdot J = -\frac{dq}{dt} \quad (2.6)$$

Apabila arus stasioner (q) adalah konstan, maka $\frac{dq}{dt} = 0$. Sehingga persamaan (2.6) menjadi

$$\nabla \cdot J = 0 \quad (2.7)$$

Kemudian disubstitusikan persamaan (2.6) ke dalam persamaan (2.7), maka akan didapatkan

$$\nabla \cdot (\sigma \nabla V) = 0 \quad (2.8)$$

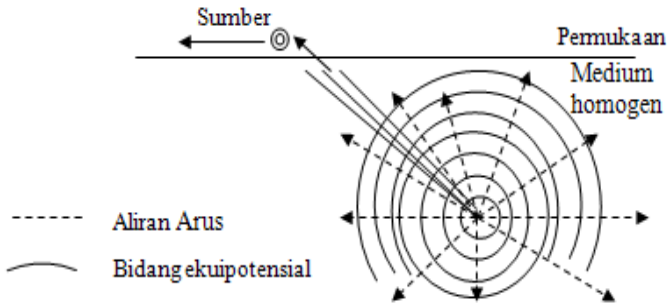
Dalam medium homogen isotropis, konduktivitas bahan (σ) adalah konstan. Sehingga persamaan (2.8) menjadi

$$\nabla^2 V = 0 \quad (2.9)$$

Persamaan (2.9) merupakan persamaan Laplace (Telford dkk, 1982).

2.3.4 Distribusi potensial untuk titik arus dalam bumi

Jika terdapat arus listrik tunggal yang mengalir dalam medium (bumi) homogen isotropis, maka garis potensialnya akan berbentuk bola.



Gambar 2.3 Aliran arus dan bidang potensial dalam medium homogen isotropis (Telford dkk, 1982)

Dalam koordinat bola, operator Laplacian ditulis sebagai berikut

$$\nabla^2 V = \frac{1}{r^2} \left[\frac{\partial}{\partial r} \left(r^2 \frac{\partial v}{\partial r} \right) + \frac{1}{\sin \theta} \frac{\partial}{\partial \theta} \left(\sin \theta \frac{\partial V}{\partial \theta} \right) + \frac{1}{\sin^2 \theta} \frac{\partial^2 V}{\partial \varphi^2} \right] \quad (2.10)$$

Karena medium homogen isotropis, maka medium mempunyai simetri bola dan arena yang mengalir simetri terhadap θ dan φ , maka V hanya merupakan fungsi jarak. Sehingga

$$\nabla^2 V = \frac{1}{r^2} \left[\frac{\partial}{\partial r} \left(r^2 \frac{\partial v}{\partial r} \right) \right] = 0 \quad (2.11)$$

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

$$\frac{\partial^2 V}{\partial r^2} + \frac{2}{r} \frac{\partial V}{\partial r} = 0 \quad (2.13)$$

$$\frac{\partial^2 V}{\partial r^2} = - \frac{2}{r} \frac{\partial V}{\partial r} \quad (2.14)$$

Dengan mengalikan persamaan (2.14) dengan r^2 , akan didapat

$$r^2 \frac{\partial^2 V}{\partial r^2} = -2r \frac{\partial V}{\partial r} \quad (2.15)$$

$$\frac{\partial V}{\partial r} = \frac{A}{r^2} \quad (2.16)$$

Hasil dari integrasi persamaan (2.16) akan menghasilkan

$$V = - \frac{A}{r} + B \quad (2.17)$$

dengan A dan B merupakan konstanta dengan menerapkan syarat batas $r = \infty$ dan $V = 0$ sehingga nilai B adalah 0. Hasilnya diperoleh persamaan berikut

$$V = -\frac{A}{r} \quad (2.18)$$

Arus akan keluar secara radial dari titik arus, maka jumlah arus yang melewati permukaan bola dengan jari-jari r adalah

$$I = JA \quad (2.19)$$

$$I = 4\pi r^2 J \quad (2.20)$$

$$I = 4\pi r^2 (-\sigma \nabla V) \quad (2.21)$$

$$I = 4\pi r^2 \left(-\sigma \frac{\partial V}{\partial r} \right) \quad (2.22)$$

$$I = 4\pi r^2 \left(-\sigma \frac{A}{r^2} \right) \quad (2.23)$$

Karena $\sigma = \frac{1}{\rho}$ maka persamaan (2.23) akan menjadi

$$A = \frac{I\rho}{4\pi} \quad (2.24)$$

Dengan mensubstitusikan persamaan (2.24) ke dalam persamaan (2.18) akan didapatkan

$$V = \left(\frac{I\rho}{4\pi} \right) \frac{1}{r} \quad (2.25)$$

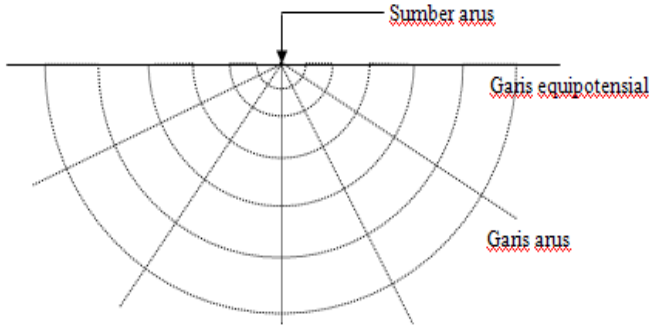
Atau

$$\rho = \frac{4\pi V}{I} \quad (2.26)$$

(Telford dkk, 1982)

2.3.5 Elektrode tunggal dalam bumi

Untuk keadaan bumi yang homogen isotropis, maka bumi mempunyai bentuk simetri bola dan apabila udara di atas permukaan mempunyai konduktivitas nol, maka garis potensialnya akan berbentuk setengah bola. Bentuk garis potensial diilustrasikan seperti gambar 2.4



Gambar 2.4 Sumber arus tunggal di permukaan bumi

Karena bidang ekuipotensial berbentuk setengah bola, maka nilai luasan bola adalah $2\pi r^2$ dan nilai A adalah

$$A = -\frac{I\rho}{2\pi} \quad (2.27)$$

Maka akan menghasilkan nilai V yaitu

$$V = -\left(\frac{I\rho}{2\pi}\right)\frac{1}{r} \quad (2.28)$$

atau

$$\rho = \frac{2\pi r}{I} V \quad (2.29)$$

(Telford dkk, 1982)

2.3.6 Dua elektrode arus dalam permukaan bumi

Apabila terdapat 2 elektrode arus yang dibuat dengan jarak tertentu seperti pada gambar 2.5. Potensial pada titik-titik dekat permukaan akan dipengaruhi oleh kedua elektrode arus tersebut. Maka potensial pada titik P_1 akibat elektrode arus C_1 adalah (Reynolds, 1997)

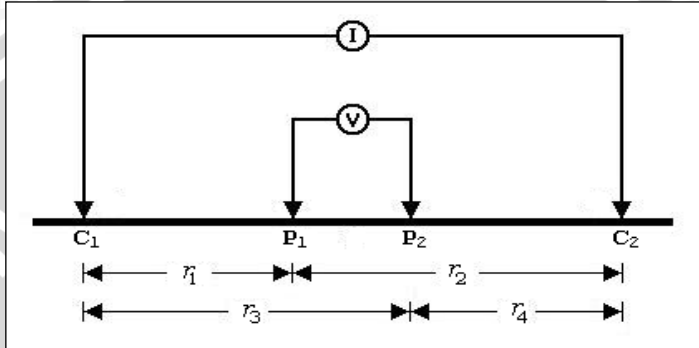
$$V_{11} = \left(\frac{I\rho}{2\pi}\right)\frac{1}{r_1} \quad (2.30)$$

Karena arus pada kedua elektrode sama dan berlawanan arah, maka potensial pada titik P_2 akibat elektrode arus C_2 dapat ditulis

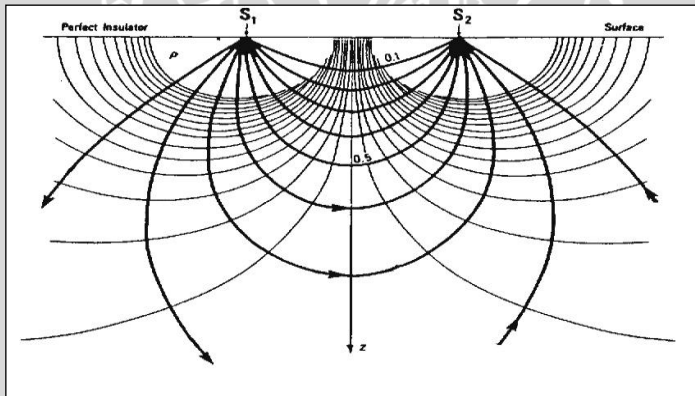
$$V_{12} = -\left(\frac{I\rho}{2\pi}\right)\frac{1}{r_2} \quad (2.31)$$

sehingga potensial total pada titik P₁ oleh C₁ dan C₂ dapat dituliskan sebagai berikut:

$$V_{11} + V_{12} = \frac{I\rho}{2\pi} \left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} \right) \quad (2.32)$$



Gambar 2.5 Dua pasang elektroda arus dan potensial pada permukaan medium homogen isotropis dengan tahanan jenis ρ (Telford dkk, 1982)



Gambar 2.6 Pola aliran arus dan bidang ekipotensial antara dua elektrode arus dengan polaritas berlawanan (Reynolds, 1997)

Dengan cara yang sama dapat diperoleh potensial pada titik P₂ oleh C₁ dan C₂ adalah

$$V_{21} + V_{22} = \frac{I\rho}{2\pi} \left(\frac{1}{r_3} - \frac{1}{r_4} \right) \quad (2.33)$$

sehingga dapat diperoleh perbedaan potensial antara titik P₁ dan titik P₂ adalah

$$\Delta V = \frac{I\rho}{2\pi} \left\{ \left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} \right) - \left(\frac{1}{r_3} - \frac{1}{r_4} \right) \right\} \quad (2.34)$$

Konfigurasi dengan empat elektroda inilah yang biasanya digunakan dalam pekerjaan survei geolistrik resistivitas di lapangan. Garis-garis arus dan bidang ekuipotensial antara kedua elektroda arus membentuk setengah bola seperti pada Gambar 2.6.

2.3.7 Resistivitas semu

Ada asumsi bahwa bumi mempunyai sifat homogen isotropis. Bahwa tahanan jenis terukur merupakan tahanan jenis yang sebenarnya dan tidak tergantung dari spasi elektroda. Akan tetapi karena sifat bumi yang pada umumnya berlapis (terutama di dekat permukaan), perandaian bahwa mediumnya adalah homogen tidak dapat dipenuhi. Oleh karena itu tahanan jenis yang diperoleh dari perhitungan bukan merupakan tahanan jenis sebenarnya melainkan lebih dikenal sebagai tahanan jenis semu (ρ_a). Tahanan jenis semu merupakan tahanan jenis dari suatu medium fiktif homogen yang ekuivalen dengan medium berlapis yang ditinjau. Dengan kata lain, satu lapis dengan tahanan jenis berbeda (ρ_1 dan ρ_2), dianggap satu lapisan dengan satu harga tahanan jenis, yaitu ρ_a . Penjelasan diatas dapat ditunjukkan seperti gambar 2.7.



Gambar 2.7 Konsep resistivitas semu

Dari gambar 2.7 tersebut ditinjau suatu lapisan terdiri dari 2 lapisan yang berbeda nilai resistivitasnya. Dalam pengukuran medium, 2 lapisan tersebut diasumsikan memiliki satu nilai resistivitas yaitu ρ_a (resistivitas semu).

Besarnya resistivitas semu (ρ_a) adalah

$$\rho_a = \frac{2\pi}{\left\{\left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2}\right) - \left(\frac{1}{r_3} - \frac{1}{r_4}\right)\right\}} \frac{\Delta V}{I} \quad (2.35)$$

Atau

$$\rho_a = K \frac{\Delta V}{I} \quad (2.36)$$

Dengan

$$K = \frac{2\pi}{\left\{\left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2}\right) - \left(\frac{1}{r_3} - \frac{1}{r_4}\right)\right\}} \quad (2.37)$$

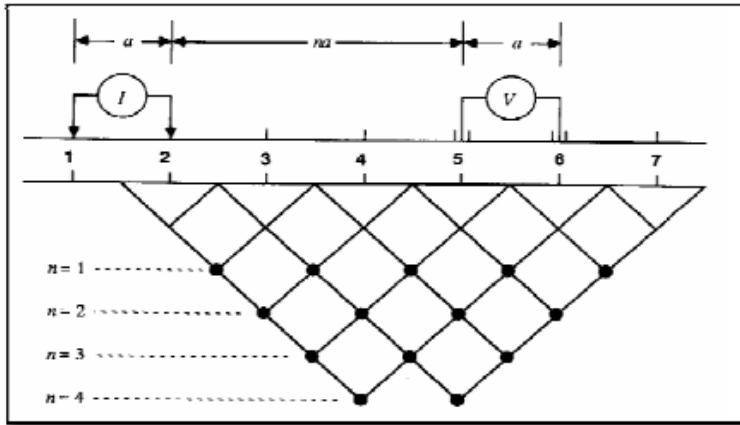
dimana K adalah faktor geometri yaitu besaran koreksi letak kedua elektroda potensial terhadap letak elektroda arus (Reynolds, 1997).

Resistivitas semu yang dihasilkan oleh setiap konfigurasi akan berbeda walaupun jarak antar elektrodanya sama. Maka dikenal adanya konsep resistivitas semu. Untuk medium berlapis, harga resistivitas semu ini akan merupakan fungsi jarak bentangan (jarak antar elektroda arus). Untuk jarak antar elektroda arus yang kecil akan memberikan ρ_a yang harganya mendekati ρ batuan di dekat permukaan. Sedang untuk jarak bentangan yang besar, ρ_a yang diperoleh akan mewakili harga ρ batuan yang lebih dalam (Jayeng, 2005).

2.3.8 Pseudodepth section

Pseudodepth section merupakan gambaran penampang vertikal dari suatu irisan di dalamnya terdapat titik-titik plotting yang digambarkan pada suatu kedalaman yang berbeda berdasarkan posisi elektroda arus dan elektroda potensial. Titik-titik tersebut merupakan gambaran dari arus yang diinjeksikan kemudian mengenai suatu medium dan menghasilkan beda potensial sedangkan medium sendiri memberikan hambatan terhadap arus yang mengalir.

Titik plotting tersebut membentuk suatu sudut sebesar 45 antara posisi tengah receiver dan posisi transmitter yang berubah tergantung kerapatan n . Hasil dari pengolahan data dapat ditampilkan dalam bentuk pseudodepth section dimana besarnya tahanan jenis semu tergantung dari jarak spasi elektroda yang digunakan (Telford dkk, 1982)



Gambar 2.8 Konsep *pseudodepth section* (Telford dkk, 1992)

2.3.9 Konfigurasi Dipole-Dipole

Konfigurasi *dipole-dipole* menggunakan 4 elektroda yang terdiri dari 2 elektroda arus dan 2 elektroda potensial (Gambar 2.4). Elektroda arus ditempatkan diurutan pertama kemudian dilanjutkan dengan elektroda potensial. Jarak antara AB=MN sebesar a sedangkan elektroda arus dan potensial dipisahkan oleh jarak na dimana n merupakan faktor kali dari pemindahan elektrodapotensial. Dengan susunan konfigurasi tersebut maka didapatkan nilai faktor geometris sebesar

$$\pi an(n+1)(n+2) \quad (2.38)$$

dan resistivitas semu:

$$\rho = \pi an(n+1)(n+2) \frac{V}{I} \quad (2.41)$$

Penelitian metode geolistrik resistivitas yang dilakukan dengan menggunakan konfigurasi dipole-dipole merupakan salah satu cara untuk dapat mengetahui kondisi bawah permukaan bumi tanpa perlu menggali/mengebor bumi secara langsung. Konfigurasi dipole-dipole merupakan salah satu konfigurasi elektroda dalam metode geolistrik resistivitas yang cukup efektif dalam survei di lapangan, karena setiap kali berpindah titik tidak perlu memindah semua elektroda tapi cukup elektroda potensialnya saja. Selain itu dengan menggunakan konfigurasi ini, dalam satu kali survei dapat menampilkan

penampang (profiling) sounding sekaligus mapping bawah permukaan (Affan, 2005)



Gambar 2.7 Konfigurasi Dipole-Dipole (Barkeley, 2011)

Penurunan rumus geolistrik resistivitas metode dipole-dipole adalah sebagai berikut (Arif, 2009):

$$R_1 = na$$

$$R_2 = R_3 = a + na$$

$$R_4 = 2a + na$$

maka besar potensial dipole-dipole adalah:

$$\begin{aligned} \Delta V &= V_m - V_n \\ \Delta V &= \frac{I\rho}{2\pi} x \left\{ \left(\frac{1}{R_1} - \frac{1}{R_2} \right) - \left(\frac{1}{R_3} - \frac{1}{R_4} \right) \right\} \\ V_m &= \frac{I\rho}{2\pi} x \left(\frac{1}{R_1} - \frac{1}{R_2} \right) \\ V_m &= \frac{I\rho}{2\pi} x \left(\frac{1}{na} - \frac{1}{a + na} \right) \\ V_N &= \frac{I\rho}{2\pi} x \left(\frac{1}{R_3} - \frac{1}{R_4} \right) \\ V_N &= \frac{I\rho}{2\pi} x \left(\frac{1}{na + a} - \frac{1}{2a + na} \right) \\ \Delta V &= \frac{I\rho}{2\pi} x \left\{ \left(\frac{1}{na} - \frac{1}{a + na} \right) - \left(\frac{1}{na + a} - \frac{1}{2a + na} \right) \right\} \\ \Delta V &= \frac{I\rho}{2\pi} x \left(\frac{na(2 + 3n + n^2)}{2} \right) \\ \Delta V &= \frac{I\rho}{2\pi} x \left(\frac{na(n + 1)(n + 2)}{2} \right) \\ \Delta V &= \frac{I\rho_a}{\pi na(n + 1)(n + 2)} \\ \rho_a &= \pi na(n + 1)(n + 2)x \left(\frac{\Delta V}{I} \right) \end{aligned}$$

$$K = \pi na(n + 1)(n + 2) \quad (2.42)$$

2.4 Geologi Daerah Tumpang

Penelitian geolistrik resistivitas dengan menggunakan konfigurasi dipole-dipole berlokasi di daerah Candi Kidal, Desa Rejokidal, Kecamatan Tumpang Kabupaten Malang Propinsi Jawa Timur. Secara daerah, Kecamatan Tumpang berbatasan dengan Kecamatan Jabung pada arah utara, pengunungan bromo semeru pada arah timur, Kecamatan Poncokusumo pada arah selatan dan sebelah barat berbatasan dengan Kodya Malang.

Kecamatan Tumpang memiliki luas area yakni 6.915,431 Ha yang terdiri dari sawah, tanah tegalan, hutan, perkebunan dan lain-lain. Secara topografi, Kecamatan Tumpang dibagi menjadi 3 area yaitu:

1. Tumpang Bagian Timur terdiri dari Desa Benjor, Duwet, dan Duwet Krajan merupakan daerah pegunungan dengan ketinggian diatas 700 dpl.
2. Tumpang Bagian Tengah terdiri dari Desa Tmpang, Malangsuko, Jeru, Tulusbesar, yang merupakan daerah perkotaan.
3. Tumpang bagian barat terdiri dari Desa Wringingsingi, Bokor, Slamet, Rejokidal, Kambingan, Ngingit, Pandanajeng, dan Pulungdowo. Curah hujan daerah ini yakni rata-rata 1297 sampai 1925 mm setiap tahunnya dengan suhu rata-rata 18-26 °C.

Geologi daerah tumpang termasuk batuan gunung api tengger. Batuan gunung api tengger tersusun dari tuf pasiran, tuf batu apung, tuf abu dan tuf aglomerat. Batuan gunung api ini merupakan hasil endapan piroklastik dan lelehan lava yang terjadi secara aliran dan jauh dari udara (Wiki², 2011).

BAB III METODE PENELITIAN

3.1 Tempat dan Waktu Penelitian

Penelitian dilakukan pada tanggal 21 dan 23 September 2011 dengan mengambil lokasi di Candi Kidal, Kecamatan Tumpang Jawa Timur. Data yang diambil berupa data primer (pengambilan data secara langsung).



3.2 Alat dan Bahan

Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini meliputi:

1. Resistivity Meter merek OYO TIPE MCOHM-EL MODEL-2917 (1 buah). Spesifikasi Resistivity Meter sebagai berikut:
 - Tipe : OYO McOHM Model-2917
 - Resolusi : $1\mu\text{V}$ (24 Bit Delta Sigma A/D Converter)
 - Kapasitas Output : 350 mA, 200 V (70 W)
500 mA, 200 V (100 W)
600 mA, 100 V (65 W)
800 mA, 100 V (80 W)
 - Ketelitian : $\pm 2\%$ FS
 - Tegangan Input : $12\text{ V} \pm 10\%$
 - Tegangan Transmisi : 400 V (800 Vpp)
 - Arus Transmisi : 2, 20, 60, 120 mA
 - Time Cycle : 2, 3, 4 detik
 - Jangkauan : ± 200 Meter
 - Range Temperatur : $0\text{-}50^\circ\text{C}$
 - Display : $1\ \Omega$ meter sampe $10\ \text{K}\Omega$ meter
 - Sumber daya : Baterai kering (12 V DC)
 - Dimensi : $330 \times 270 \times 210\ \text{mm}^3$
 - Berat : 8 kg
 - Produk : Jepang
2. Elektroda arus dan potensial (4 buah)
3. Kabel listrik (1 buah)
4. Palu (4 buah)
5. Seperangkat komputer
6. GPS (1 buah)
7. Meteran (1 buah)
8. Accu (1 buah)
9. Lembar data dan alat tulis



Gambar 3.2 Peralatan resistivity meter

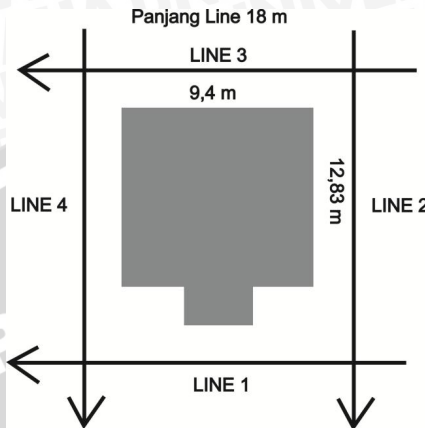
3.3 Prosedur Kerja

Prosedur kerja yang dilaksanakan pada penelitian ini dilakukan secara berurutan mulai dari survei lokasi, pengambilan data, penghitungan nilai resistivitas semu menggunakan *Microsoft Excel*, pemodelan dengan *Res2Dinv*. Setelah data diperoleh dan diolah maka dilakukan interpretasi lapisan bawah permukaan dengan mengacu pada geologi daerah, pengamatan langsung serta komunikasi dengan penduduk sekitar.

3.4 Akuisisi Data

Proses akuisisi data atau pengambilan data berupa pengukuran nilai hambatan atau resistansi batuan (R) dengan menggunakan alat Resistivity Meter. Dalam pengambilan data resistansi tersebut digunakan dua elektroda arus dan dua elektroda potensial yang harus digeser sampai jarak tertentu, pada penelitian ini digunakan panjang lintasan sebesar 18 m dengan spasi sebesar 2 m. Jumlah lintasan yang diukur adalah 4 lintasan. Data yang diambil dari penelitian ini adalah data primer, yang berupa:

1. Jarak antar elektroda (spasi antar elektroda)
2. Nilai pergeseran (n)
3. Nilai hambatan (R)



Gambar 3.3 Lintasan Pengambilan Data

3.5 Pengolahan Data

Data yang diperoleh dari lapangan diolah menggunakan *software Microsoft Excel* guna mengetahui nilai resistivitas semu pada tiap-tiap titik pengukuran. Setelah resistivitas semu diperoleh maka data diolah dengan menggunakan *software Res2Dinv* untuk memberikan gambaran dua dimensi horizontal dan vertikal lapisan bawah permukaan. Data masukan berupa file dengan ekstensi *.dat* yang terdiri dari datum point, spasi elektroda, faktor spasi (n) dan nilai resistivitas semu. Program *Res2Dinv* akan membaca data tersebut dan kemudian ditampilkan hasil inversinya yang berupa penampang kondisi bawah permukaan daerah penelitian. Setelah kondisi bawah permukaan diperoleh, maka dilakukan interpretasi berdasarkan nilai resistivitas yang ditinjau juga dari kondisi geologi daerah Tumpang serta sejarah Candi Kidal. Korelasi tersebut akan memberikan interpretasi yang lebih akurat mengenai struktur bawah permukaan kawasan Candi Kidal.

3.6 Interpretasi Data

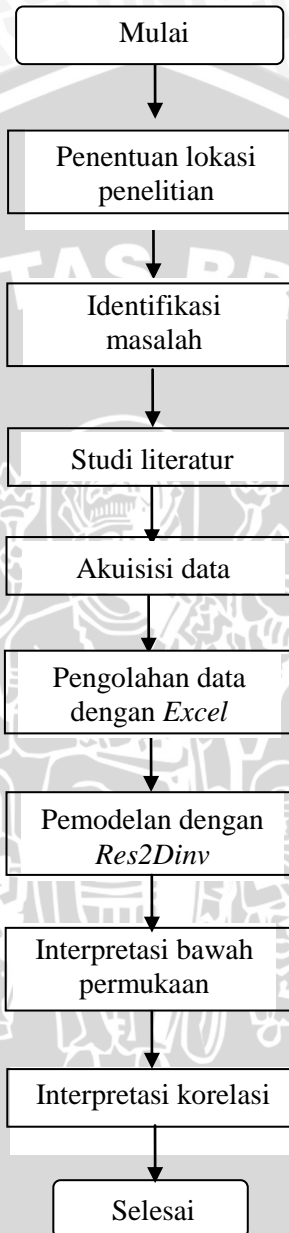
Interpretasi data merupakan langkah akhir penelitian yang dilakukan. Pada tahapan ini hasil penelitian diartikan untuk dapat diketahui bagaimana gambaran kondisi bawah permukaan daerah

penelitian serta ada tidaknya korelasi antar lintasan. Hal ini dilakukan dengan melihat hasil yang ditunjukkan oleh program yang digunakan dan dikorelasikan dengan data-data geologi daerah penelitian serta informasi dari pihak terkait.

3.7 Diagram Alir

Penelitian ini akan dilaksanakan secara berurutan sesuai dengan diagram alir kerja berikut ini:





Gambar 3.4 Diagram alir penelitian

UNIVERSITAS BRAWIJAYA

(Halaman ini sengaja dikosongkan)



BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Analisa Hasil

Penelitian metode geolistrik resistivitas yang dilakukan dengan metode dipole-dipole merupakan salah satu cara yang baik untuk dapat menggambarkan atau mengetahui struktur lapisan bawah permukaan tanpa merusak lingkungan (tanpa dilakukan pengeboran atau penggalian). Pemodelan ini dilakukan dengan mencatat nilai kuat arus yang diinjeksikan ke dalam bumi, serta nilai hambatan pada tiap-tiap perpindahan titik pengukuran. Penelitian ini menggunakan konfigurasi dipole-dipole karena konfigurasi ini relatif lebih baik dalam menggambarkan struktur bawah permukaan secara lateral dibandingkan dengan menggunakan konfigurasi lainnya. Akuisisi data dilakukan di kawasan Candi Kidal yang terletak di Kecamatan Tumpang, Kabupaten Malang Jawa Timur. Penelitian ini digunakan 4 lintasan yang mengelilingi candi secara langsung. Dipilih 4 lintasan yang mempunyai panjang lintasan yang sama yaitu 18 m, bertujuan agar diperoleh korelasi antar tiap lintasan sehingga dapat diketahui ada atau tidaknya suatu anomali yang masih berhubungan dengan candi.

Setelah dilakukan akuisisi maka didapatkan nilai hambatan dan kuat arus yang diinjeksikan, dua parameter data ini kemudian diolah menggunakan *software Microsoft excel* guna mengetahui nilai resistivitas semu pada tiap-tiap titik pengukuran. Resistivitas semu diperoleh dengan mengalikan nilai hambatan dengan faktor konfigurasi dipole-dipole. Selanjutnya data hasil resistivitas semu disimpan dalam file *notepad* yang memiliki ekstensi (*.dat*). Setelah data menjadi ekstensi tersebut maka data dapat diolah menggunakan *software Res2Dinv*. Software ini akan memodelkan data resistivitas semu yang diperoleh menjadi gambaran bawah permukaan.

Dari gambaran hasil pengolahan *Res2Dinv* didapatkan gambaran bawah permukaan secara penuh. Gambaran permukaan merupakan hasil pemodelan antara kedalaman dengan nilai resistivitas yang ditunjukkan dengan gradasi warna sehingga dapat dilakukan interpretasi pada tiap-tiap warna yang mencerminkan kisaran resistivitas dan kedalaman kisaran tersebut.

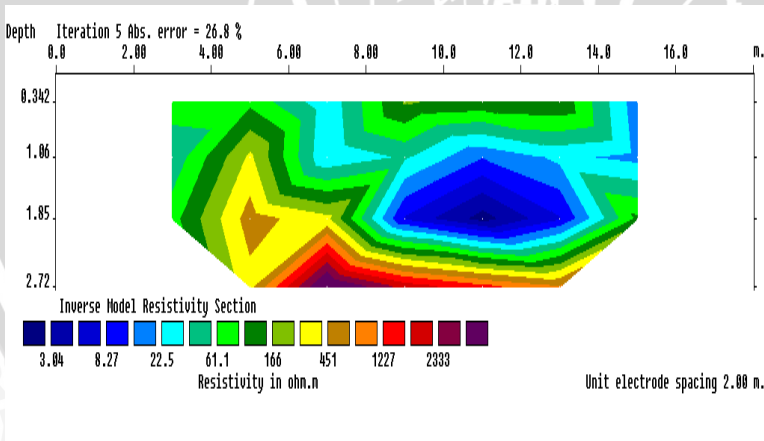
Interpretasi data dilakukan dengan mengkorelasikan gambaran dari *Res2Dinv*, geologi daerah tumpang serta informasi dari juru kunci Candi Kidal. Dengan korelasi ini akan dihasilkan informasi mengenai struktur serta ada tidaknya korelasi pada tiap-tiap lintasan pengukuran.

4.2 Pembahasan

Setelah diketahui nilai resistivitas semu yang didapat dari perhitungan menggunakan *Microsoft Excel* maka dilakukan pemodelan menggunakan software *Res2Dinv*. Tujuan dari pemodelan ini yaitu mengetahui struktur lapisan yang digambarkan dengan warna sebagai identitas resistivitas dengan kedalaman lapisan.

4.2.1 Pendugaan litologi pada lintasan 1

Berdasarkan gambaran penampang lintasan dengan konsep *pseudosection depth* dan diolah dengan menggunakan software *Res2Dinv* diperoleh gambar 4.1 yang memiliki kedalaman sekitar 2,72 m serta panjang lintasan 18 m. Lintasan 1 terletak di sebelah barat dari candi kidal. Pengambilan data dilakukan dengan memindah elektrode ke arah utara.



Gambar 4.1 Model resistivitas 2D pada lintasan 1

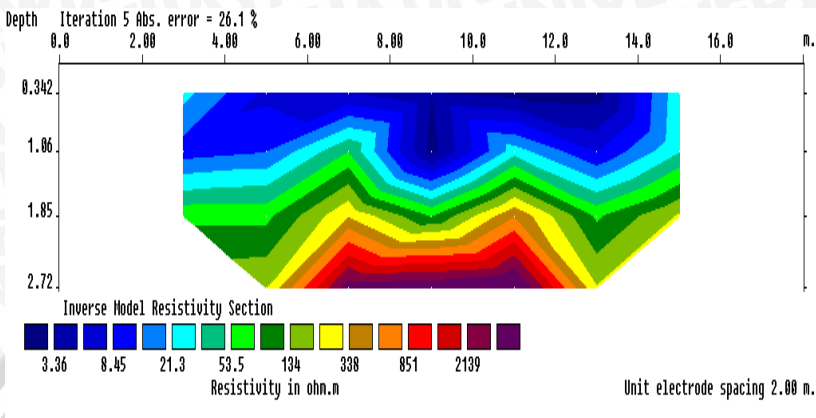
Dari hasil pemodelan diatas dapat diketahui nilai kisaran resistivitas secara keseluruhan berada pada kisaran 3 Ω m sampai 2333 Ω m dan mempunyai kesalahan sebesar 26,8%. Setelah dilakukan interpretasi maka dapat diprediksi bahwa resistivitas dengan kisaran 3 Ω m sampai 22 Ω m adalah lempung, untuk kisaran resistivitas 22 Ω m sampai 166 Ω m adalah lempung pasiran, untuk kisaran resistivitas 166 Ω m sampai 451 Ω m adalah pasir dan kerikil kering, sedangkan untuk kisaran resistivitas 451 Ω m sampai 2333 Ω m menunjukkan batu pasir. Untuk tabel kisaran resistivitas dengan interpretasi lapisan disajikan pada tabel 4.1 sebagai berikut.

Tabel 4.1 Kisaran resistivitas dan jenis batuan pada lintasan 1

Kisaran Resistivitas (ohm m)	Pendugaan Jenis Batuan
3 – 22	Lempung
22 – 166	Lempung Pasiran
166 – 451	Pasir dan Kerikil Kering
451 – 2333	Batu Pasir

4.2.2 Pendugaan litologi pada lintasan 2

Berdasarkan gambaran penampang lintasan dengan konsep *pseudosection depth* dan diolah dengan menggunakan software *Res2Dinv* diperoleh gambar 4.2 yang memiliki kedalaman sekitar 2,72 m serta panjang lintasan 18 m. Lintasan 2 terletak di sebelah selatan dari Candi Kidal. Pengambilan data dilakukan dengan memindahkan elektrode ke arah barat.



Gambar 4.2 Model resistivitas 2D pada lintasan 2

Dari hasil pemodelan diatas dapat diketahui nilai kisaran resistivitas secara keseluruhan berada pada kisaran 3,3 Ω m sampai 2139 Ω m dan mempunyai kesalahan sebesar 26,1%. Setelah dilakukan interpretasi maka dapat diprediksi bahwa resistivitas dengan kisaran 3,3 Ω m sampai 21 Ω m adalah lempung, untuk kisaran resistivitas 21 Ω m sampai 134 Ω m adalah lempung pasir, untuk kisaran resistivitas 134 Ω m sampai 338 Ω m adalah pasir dan kerikil kering, sedangkan untuk kisaran resistivitas 338 Ω m sampai 2139 Ω m menunjukkan batu pasir. Untuk tabel kisaran resistivitas dengan interpretasi lapisan disajikan pada tabel 4.2 sebagai berikut.

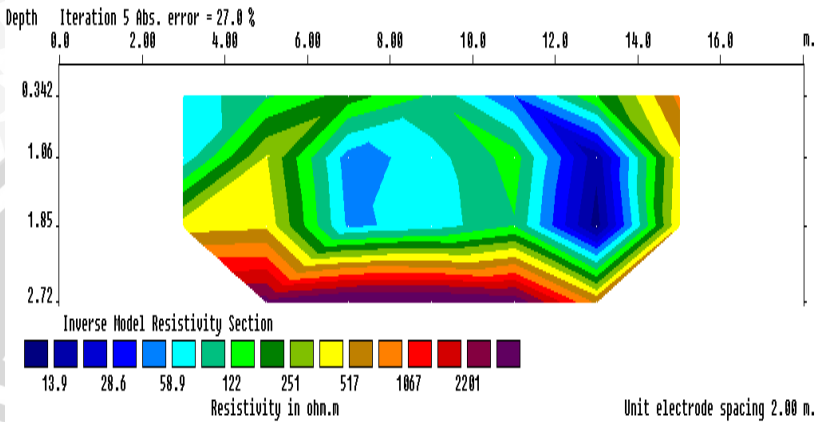
Tabel 4.2 Kisaran resistivitas dan jenis batuan pada lintasan 2

Kisaran Resistivitas (ohm m)	Pendugaan Jenis Batuan
3,3 – 21	Lempung
21 – 134	Lempung Pasiran
134 – 338	Pasir dan Kerikil Kering
338 – 2139	Batu Pasir

4.2.3 Pendugaan litologi pada lintasan 3

Berdasarkan gambaran penampang lintasan dengan konsep *pseudosection depth* dan diolah dengan menggunakan software *Res2Dinv* diperoleh gambar 4.3 yang memiliki kedalaman sekitar

2,72 m serta panjang lintasan 18 m. Lintasan terletak di sebelah timur dari Candi Kidal. Pengambilan data dilakukan dengan memindahkan elektrode ke arah utara.



Gambar 4.3 Model resistivitas 2D pada lintasan 3

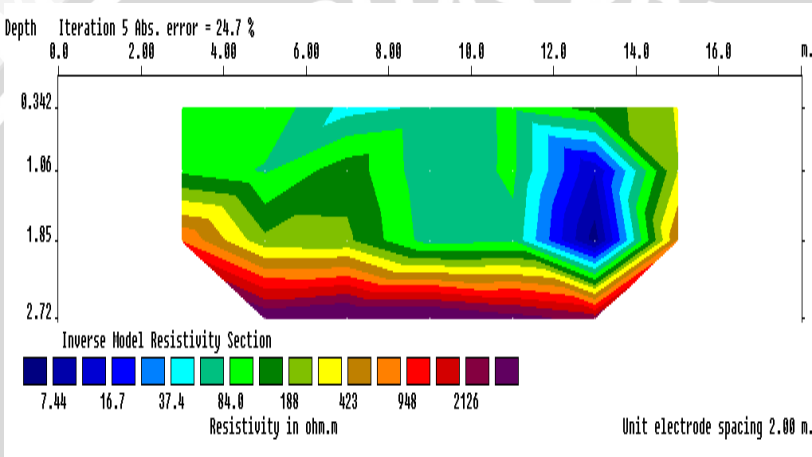
Dari hasil pemodelan diatas dapat diketahui nilai kisaran resistivitas secara keseluruhan berada pada kisaran 14 Ω m sampai 2201 Ω m dan mempunyai kesalahan sebesar 27,0%. Setelah dilakukan interpretasi maka dapat diprediksi bahwa resistivitas dengan kisaran 14 Ω m sampai 59 Ω m adalah lempung, untuk kisaran resistivitas 59 Ω m sampai 251 Ω m adalah lempung pasir, untuk kisaran resistivitas 251 Ω m sampai 517 Ω m adalah pasir dan kerikil kering, sedangkan untuk kisaran resistivitas 517 Ω m sampai 2201 Ω m menunjukkan batu pasir. Untuk tabel kisaran resistivitas dengan interpretasi lapisan disajikan pada tabel 4.3 sebagai berikut.

Tabel 4.3 Kisaran resistivitas dan jenis batuan pada lintasan 3

Kisaran Resistivitas (ohm m)	Pendugaan Jenis Batuan
14 – 59	Lempung
59 – 251	Lempung Pasiran
251 – 517	Pasir dan Kerikil Kering
517 – 2201	Batu Pasir

4.2.4 Pendugaan litologi pada lintasan 4

Berdasarkan gambaran penampang lintasan dengan konsep *pseudosection depth* dan diolah dengan menggunakan software *Res2Dinv* diperoleh gambar 4.4 yang memiliki kedalaman sekitar 2,72 m serta panjang lintasan 18 m. Lintasan 4 terletak di sebelah selatan dari Candi Kidal. Pengambilan data dilakukan dengan memindahkan elektrode ke arah barat.



Gambar 4.4 Model resistivitas 2D pada lintasan 4

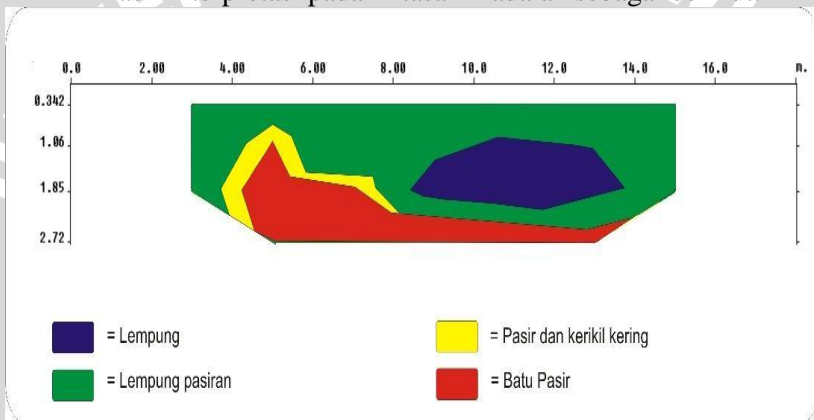
Dari hasil pemodelan diatas dapat diketahui nilai kisaran resistivitas secara keseluruhan berada pada kisaran 7,4 Ω m sampai 2126 Ω m dan mempunyai kesalahan sebesar 24,7%. Setelah dilakukan interpretasi maka dapat diprediksi bahwa resistivitas dengan kisaran 7,4 Ω m sampai 37 Ω m adalah lempung, untuk kisaran resistivitas 37 Ω m sampai 188 Ω m adalah lempung pasir, untuk kisaran resistivitas 188 Ω m sampai 423 Ω m adalah pasir dan kerikil kering, sedangkan untuk kisaran resistivitas 423 Ω m sampai 2126 Ω m menunjukkan batu pasir. Untuk tabel kisaran resistivitas dengan interpretasi lapisan disajikan pada tabel 4.4 sebagai berikut.

Tabel 4.4 Kisaran resistivitas dan jenis batuan pada lintasan 4

Kisaran Resistivitas (ohm m)	Pendugaan Jenis Batuan
7,4 – 37	Lempung
37– 188	Lempung Pasiran
188 – 423	Pasir dan Kerikil Kering
448 – 2126	Batu Pasir

4.2.5 Interpretasi lapisan lintasan 1

Hasil Interpretasi pada lintasan 1 adalah sebagai berikut.

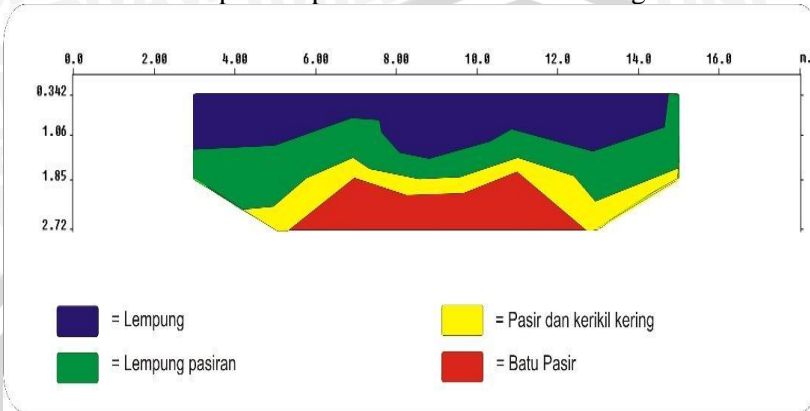


Gambar 4.5 Pola struktur lintasan 1

Dari gambar 4.5, pola struktur pada lintasan 1 terdiri dari lempung, lempung pasiran, pasir dan kerikil kering, dan batu pasir. Lempung berada pada kedalaman sekitar 1,06 m sampai 1,85 m dengan panjang sekitar 8 sampai 14 m. Untuk lempung pasiran terdapat hampir dalam semua area yaitu dengan kedalaman sekitar 0,342 m sampai 1,85 m dengan panjang 2,5 m sampai 15 m. Untuk pasir kerikil berada pada kedalaman sekitar 1,06 m sampai 2,72 m dengan panjang sekitar 4 m sampai 8 m. Dan untuk batu pasir terletak pada kedalaman sekitar 1,06 m sampai 2,72 m dengan panjang sekitar 4 m sampai 14 m. Untuk tabel kisaran resistivitas dengan interpretasi lapisan disajikan pada tabel 4.1 sebagai berikut.

4.2.6 Interpretasi lapisan lintasan 2

Hasil interpretasi pada lintasan 2 adalah sebagai berikut.

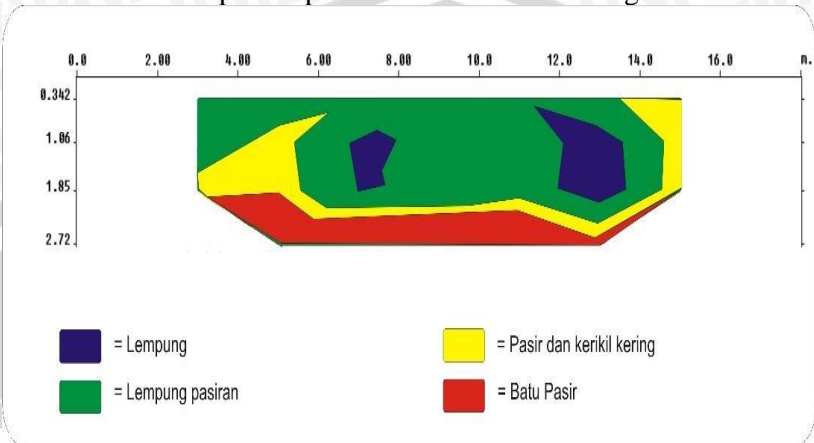


Gambar 4.6 Pola struktur lintasan 2

Dari gambar 4.6, pola struktur pada lintasan 2 terdiri dari lempung, lempung pasiran, pasir dan kerikil kering, dan batu pasir. Lempung berada pada kedalaman sekitar 0,342 m sampai 1,06 m dengan panjang sekitar 2,5 m sampai 14 m. Untuk lempung pasiran terdapat pada kedalaman sekitar 1,06 m sampai 1,85 m dengan panjang sekitar 2,5 m sampai 15 m. Untuk pasir kerikil berada pada kedalaman sekitar 1,85 m sampai 2,72 m dengan panjang sekitar 4 m sampai 14,5 m. Dan untuk batu pasir terletak pada kedalaman sekitar 1,85 m sampai 2,72 m dengan panjang sekitar 4 m sampai 14 m. Untuk tabel kisaran resistivitas dengan interpretasi lapisan disajikan pada tabel 4.2 sebagai berikut.

4.2.7 Hasil interpretasi lintasan 3

Hasil Interpretasi pada lintasan 3 adalah sebagai berikut.

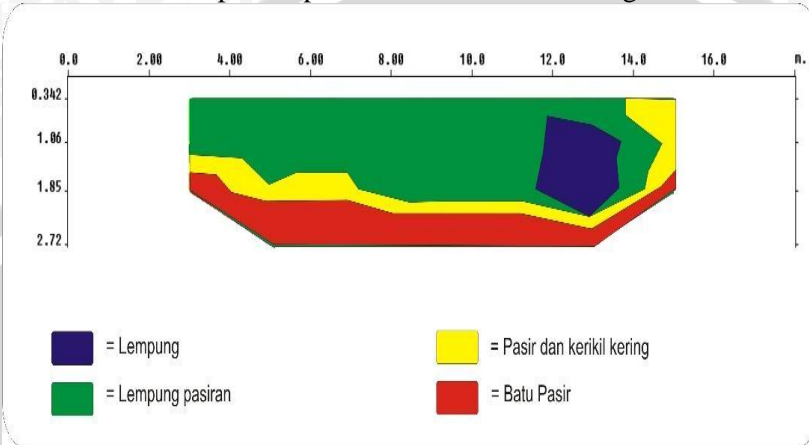


Gambar 4.7 Pola struktur lintasan 3

Dari gambar 4.7, pola struktur pada lintasan 3 terdiri dari lempung, lempung pasiran, pasir dan kerikil kering, dan batu pasir. Lempung memiliki 2 bagian yaitu yang pertama berada pada kedalaman sekitar 1,06 m sampai 1,85 m dengan panjang sekitar 6 m sampai 8 m dan untuk yang kedua berada pada kedalaman sekitar 0,342 m sampai 1,85 m. Untuk lempung pasiran terdapat pada kedalaman sekitar 0,342 m sampai 1,85 m dengan panjang sekitar 2,5 m sampai 14 m. Untuk pasir kerikil berada pada kedalaman sekitar 0,342 m sampai 1,85 m dengan panjang sekitar 2,5 m sampai 14 m. Dan untuk batu pasir terletak pada kedalaman sekitar 1,85 m sampai 2,72 m dengan panjang sekitar 4,5 m sampai 14,5 m. Untuk tabel kisaran resistivitas dengan interpretasi lapisan disajikan pada tabel 4.3 sebagai berikut.

4.2.8 Hasil interpretasi lintasan 4

Hasil interpretasi pada lintasan 4 adalah sebagai berikut.

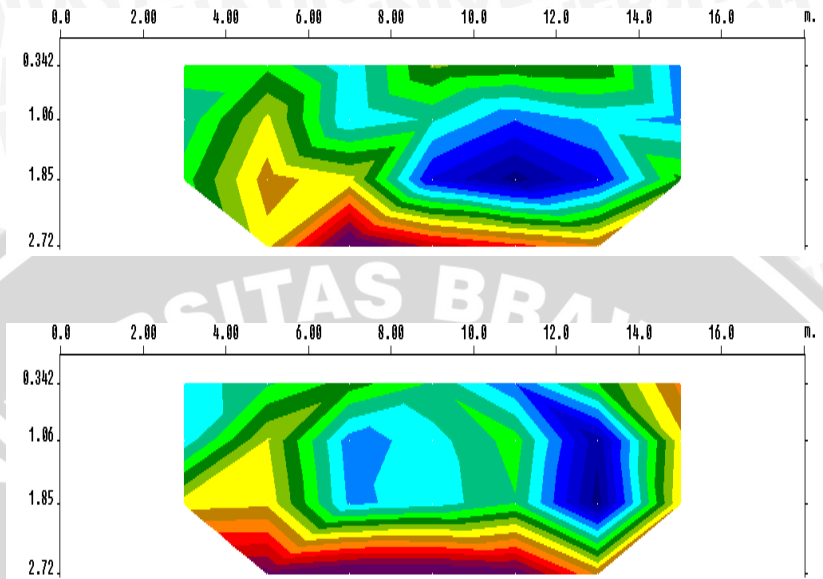


Gambar 4.8 Pola struktur lintasan 4

Dari gambar 4.8, pola struktur pada lintasan 4 terdiri dari lempung, lempung pasir, pasir dan kerikil kering, dan batu pasir. Lempung berada pada kedalaman sekitar 0,342 m sampai 1,85 m dengan panjang sekitar 11 m sampai 14 m. Untuk lempung pasir terdapat pada kedalaman sekitar 0,342 m sampai 1,85 m dengan panjang sekitar 2,5 m sampai 14 m. Untuk pasir kerikil berada pada kedalaman sekitar 1,06 m sampai 1,85 m dengan panjang sekitar 2,5 m sampai 14,5 m. Dan untuk batu pasir terletak pada kedalaman sekitar 1,85 m sampai 2,72 m dengan panjang sekitar 2,5 m sampai 14,5 m. Untuk tabel kisaran resistivitas dengan interpretasi lapisan disajikan pada tabel 4.4 sebagai berikut.

4.3 Korelasi Antar Lapisan

Terdapat suatu korelasi antar lapisan bawah permukaan candi kidal yang menunjukkan suatu anomali. Hal ini terlihat dari interpretasi pemodelan dengan menggunakan *Res2Dinv*.



Gambar 4.9 Korelasi lintasan 1 dan 3

Dari gambar 4.9 yang merupakan gambar korelasi yang terdapat pada lintasan 1 dan 3 terlihat bahwa pada sekitar 12 m sampai 14 m terdapat batuan lempung yang saling berkorelasi. Jika ditarik garis hubung maka dapat dimungkinkan antara batuan lempung pada lintasan 1 akan terhubung dengan batuan lempung pada lintasan 3.

Dari informasi yang didapat dari juru kunci candi kidal yang menyatakan bahwa sebelum dipugar apabila terjadi hujan lebat dan air menggenangi candi, maka air yang menggenangi tersebut lebih cepat surut. Dengan kawasan candi yang berupa cekungan, seharusnya air akan menggenangi candi dan surut dalam waktu yang lama. Dari informasi tersebut diduga lapisan batuan lempung merupakan saluran air yang berguna untuk menyalurkan air ketika musim hujan.

Korelasi pada 4 lintasan yang diambil, terdapat lapisan batu pasir pada kedalaman sekitar 2.5 m yang dimungkinkan memiliki keterkaitan dengan pagar yang mengelilingi candi kidal. Antara pagar dengan candi akan dihubungkan oleh suatu lapisan yang dimungkinkan adalah lantai candi. Serta dari sumur yang berada

disebelah candi, pada kedalaman sekitar 6 m tidak ditemukan adanya batu pasir, padahal pada satu kawasan yang kecil seharusnya lapisan bawah permukaan memiliki struktur yang sama. Sehingga batu pasir pada bawah permukaan candi dimungkinkan adalah bagian dari candi yang masih tertimbun tanah.

UNIVERSITAS BRAWIJAYA



BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Setelah dilakukan penelitian struktur bawah permukaan Candi Kidal dapat disimpulkan bahwa nilai resistivitas berkisar 3 Ω m sampai 2333 Ω m dan pada semua lintasan terdiri dari 4 jenis lapisan batuan yaitu lempung, lempung pasiran, pasir dan kerikil kering serta batu pasir. Pendugaan jenis lapisan ini didasarkan pada nilai kisaran resistivitas serta geologi daerah Tumpang

Dengan mengkorelasikan antara sejarah candi dengan informasi dari juru kunci candi, diduga bahwa lapisan batu pasir memiliki hubungan dengan Candi Kidal. Hal ini diperkuat dengan disekeliling candi terdapat pagar dan sumur yang berada di sebelah candi tidak ditemukan adanya batu pasir hingga kedalaman 6 m. Selain itu terdapat korelasi antara lintasan 1 dan 3 dimana diperkirakan adanya saluran air.

5.2 Saran

Diperlukan survei yang lain seperti georadar guna mendeteksi bawah permukaan Candi. Survei selanjutnya diharapkan dapat menjadi bahan pembandingan dalam penelitian ini.

UNIVERSITAS BRAWIJAYA

(Halaman ini sengaja dikosongkan)



DAFTAR PUSTAKA

- Barkeley. 2010. *EM44*. Dari <http://appliedgeophysics.lbl.gov/dc/em44.pdf>. Diakses tahun 2010.
- Baskoro, Jayeng. 2005. *Penentuan Sebaran Urat (Vein) Pyrite Dengan Menggunakan Metode Geolistrik Resistivitas Mise A La Masse Di Bangkong-Gajahrejo Gedangan Malang Selatan. Malang. Universitas Brawijaya*. Malang. Skripsi fakultas MIPA jurusan Fisika Universitas Brawijaya.
- Dobrin, Milton B. 1998. *Introduction to Geophysical Prospecting*. Singapore. Mc Graw Hill Book.
- Geocis. 2011. *Metode Geolistrik Tahanan Jenis (Resistivity)*. Dari <http://www.geocis.net>. Diakses tanggal 23 November 2011.
- Handayani, Gunawan. 2001. *Aplikasi Metode Geolistrik untuk Alat Monitoring Rembesan Limbah*. Penelitian Model Fisik di Laboratorium.
- Jatim. 2011. *Wisata Candi*. Dari <http://wisatacandi.files.wordpress.com/2010/09/jatim.jpg>. Diakses tanggal 23 November 2011.
- PNRI. 2011. *Candi Kidal*. Dari http://candi.pnri.go.id/jawa_timur/kidal/kidal.htm. Diakses tanggal 23 November 2011.
- Reynolds, J. M. 1997. *An Introduction to Applied and Environmental Geophysics*. John Wiley and Sons Ltd. Baffins, Chichester, West Sussex PO19 1UD. England.
- Robinson, Coruh. 1988. *Basic Exploration Geophysics*. Singapore. John Willey & Son.
- Telford, Geldart and Sheriff. 1982. *Applied Geophysics*. London. Cambridge University Press.
- Uchron, Affan. 2005. *Studi Efektifitas Hutan Kota Malabar Sebagai Daerah Resapan air Dengan Menggunakan Metode Geolistrik Resistivitas*. Malang. Skripsi fakultas MIPA jurusan Fisika Universitas Brawijaya
- Utomo, Arif Cipto. 2009. *Aplikasi Metode Geolistrik Resistivitas 2D Untuk Menentukan Letak Akuifer dan Pendugaan Lapisan Geologi Bawah Permukaan*. Malang. Skripsi fakultas MIPA jurusan Fisika Universitas Brawijaya
- Verhoef. 1994. *Geologi Untuk Teknik Sipil*. Erlangga. Jakarta

Vingoe, P., 1972, *Electrical Resistivity Surveying*, Geophysical Memorandum.

Wiki¹. 2011. *Wikipedia Candi Kidal*, Dari http://id.wikipedia.org/wiki/candi_kidal. Diakses tanggal 23 November 2011.

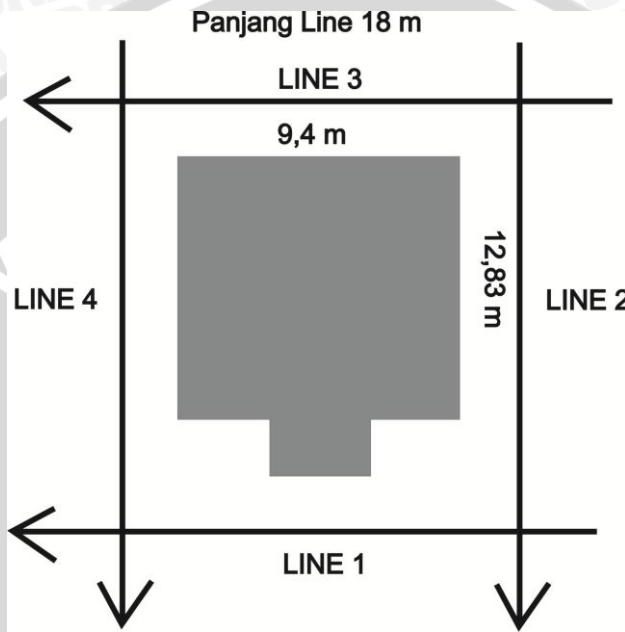
Wiki². 2011. *Wikipedia Kecamatan Tumpang*. Dari http://id.wikipedia.org/wiki/Tumpang_Malang. Diakses tanggal 23 November 2011.

Wuryantoro. 2007. *Aplikasi Metode Geolistrik Tahanan Jenis untuk Menentukan Letak dan Kedalaman Aquifer Air Tanah*. Skripsi Jurusan Fisika Fak.MIPA.Universitas Semarang.



LAMPIRAN

Lampiran 1. Desain survei dan pengambilan data



Keterangan:

Daerah : Candi Kidal

Kota : Tumpang

Panjang tiap lintasan yaitu 18 meter dengan posisi mengelilingi candi. Dari tiap lintasan diperoleh 25 data.

Lampiran 2. Data posisi penelitian menggunakan GPS

Data Gps diambil hanya posisi electrode pertama dan terakhir. Hal ini disebabkan karena area pengambilan data cukup kecil.

Lintasan 1

Posisi	Altitude	S	E
Awal	543	08° 01' 33.2"	112° 42' 32.4"
Akhir	542	08° 01' 32.7"	112° 42' 32.6"

Lintasan 2

Posisi	Altitude	S	E
Awal	539	08° 01' 33.3"	112° 42' 32.9"
Akhir	542	08° 01' 33.0"	112° 42' 32.3"

Lintasan 3

Posisi	Altitude	S	E
Awal	542	08° 01' 33.3"	112° 42' 32.7"
Akhir	542	08° 01' 33.0"	112° 42' 33.0"

Lintasan 4

Posisi	Altitude	S	E
Awal	540	08° 01' 33.0"	112° 42' 33.1"
Akhir	557	08° 01' 33.0"	112° 42' 32.6"

Lampiran 3. Data pengukuran geolistrik resistivitas konfigurasi dipole-dipole

Lintasan 1

Panjang lintasanan : 18 m

Spasi : 2 m

Datum	Spasi	N	I (mA)	R(Ω)	V(mV)
0	2	1	2,058	2,651	5,455758
2	2	1	2,058	1,165	2,39757
4	2	1	2,058	2,211	4,550238
6	2	1	2,058	0,327	0,672966
8	2	1	2,058	0,889	1,829562
10	2	1	2,058	0,281	0,578298
12	2	1	1,958	0,831	1,627098
0	2	2	2,058	0,287	0,590646
2	2	2	2,058	0,573	1,179234
4	2	2	2,058	0,299	0,615342
6	2	2	2,058	0,082	0,168756
8	2	2	2,058	0,064	0,131712
10	2	2	2,058	0,092	0,189336
0	2	3	2,058	0,231	0,475398
2	2	3	2,058	0,065	0,13377
4	2	3	2,058	0,299	0,615342
6	2	3	2,058	0,052	0,107016
8	2	3	2,058	0,123	0,253134
0	2	4	2,058	0,279	0,574182
2	2	4	2,058	0,251	0,516558
4	2	4	2,058	0,144	0,296352
6	2	4	2,058	0,201	0,413658
0	2	5	2,058	0,447	0,919926
2	2	5	2,058	0,453	0,932274
4	2	5	2,058	0,186	0,382788

Lintasan 2

Panjang lintasan : 18 m

Spasi : 2 m

Datum	Spasi	n	I (mA)	R(Ω)	V(mV)
0	2	1	2,058	0,298	0,613284
2	2	1	2,058	0,456	0,938448
4	2	1	2,058	0,266	0,547428
6	2	1	2,058	0,073	0,150234
8	2	1	2,058	0,087	0,179046
10	2	1	2,058	0,281	0,578298
12	2	1	2,058	0,213	0,438354
0	2	2	2,058	0,199	0,409542
2	2	2	2,058	0,081	0,166698
4	2	2	2,058	0,072	0,148176
6	2	2	2,058	0,099	0,203742
8	2	2	2,058	0,087	0,179046
10	2	2	1,906	0,134	0,255404
0	2	3	2,058	0,096	0,197568
2	2	3	2,058	0,081	0,166698
4	2	3	2,058	0,022	0,045276
6	2	3	2,058	0,085	0,17493
8	2	3	2,058	0,065	0,13377
0	2	4	2,058	0,036	0,074088
2	2	4	2,058	0,044	0,090552
4	2	4	2,058	0,053	0,109074
6	2	4	2,058	0,067	0,137886
0	2	5	2,058	0,05	0,1029
2	2	5	2,058	0,054	0,111132
4	2	5	2,058	0,058	0,119364

Lintasan 3

Panjang lintasan : 18 m

Spasi : 2 m

Datum	Spasi	N	I (mA)	R(Ω)	V(mV)
0	2	1	2,058	2,846	5,857068
2	2	1	2,058	2,56	5,26848
4	2	1	2,058	2,74	5,63892
6	2	1	2,058	1,817	3,739386
8	2	1	2,058	2,603	5,356974
10	2	1	2,058	1,379	2,837982
12	2	1	2,058	2,251	4,632558
0	2	2	2,058	1,002	2,062116
2	2	2	2,058	0,394	0,810852
4	2	2	2,058	0,901	1,854258
6	2	2	2,058	0,395	0,81291
8	2	2	2,058	1,043	2,146494
10	2	2	2,058	0,413	0,849954
0	2	3	2,058	0,517	1,063986
2	2	3	2,058	0,791	1,627878
4	2	3	2,058	0,402	0,827316
6	2	3	2,058	0,486	1,000188
8	2	3	2,058	0,456	0,938448
0	2	4	2,058	0,745	1,53321
2	2	4	2,058	0,728	1,498224
4	2	4	2,058	0,81	1,66698
6	2	4	2,058	0,753	1,549674
0	2	5	2,058	0,643	1,323294
2	2	5	2,058	0,788	1,621704
4	2	5	2,058	0,744	1,531152

Lintasan 4

Panjang lintasan : 18 m

Spasi : 2 m

Datum	Spasi	n	I (mA)	R(Ω)	V(mV)
0	2	1	2,058	3,395	6,98691
2	2	1	2,058	2,082	4,284756
4	2	1	2,058	3,939	8,106462
6	2	1	2,058	2,084	4,288872
8	2	1	2,058	3,543	7,291494
10	2	1	2,058	1,337	2,751546
12	2	1	2,058	2,735	5,62863
0	2	2	2,058	1,191	2,451078
2	2	2	2,058	0,861	1,771938
4	2	2	2,058	0,99	2,03742
6	2	2	2,058	0,29	0,59682
8	2	2	2,058	0,275	0,56595
10	2	2	2,058	0,44	0,90552
0	2	3	2,058	0,583	1,199814
2	2	3	2,058	0,866	1,782228
4	2	3	2,058	0,233	0,479514
6	2	3	2,058	0,692	1,424136
8	2	3	2,058	0,559	1,150422
0	2	4	2,058	0,901	1,854258
2	2	4	2,058	0,375	0,77175
4	2	4	2,058	0,56	1,15248
6	2	4	2,058	0,531	1,092798
0	2	5	2,058	0,643	1,323294
2	2	5	2,058	0,575	1,18335
4	2	5	2,058	0,876	1,802808

Lampiran 4. Data hasil pengolahan *Microsoft Excel*

Lintasan 1

- 2 (spasi elektroda)
- 3 (kode konfigurasi)
- 25 (Banyak data)
- 0 (posisi elektroda pertama)
- 0 (parameter yang dibaca)

0	2	1	99.88968
2	2	1	43.8972
4	2	1	83.31048
6	2	1	12.32136
8	2	1	33.49752
10	2	1	10.58808
12	2	1	31.31208
0	2	2	43.25664
2	2	2	86.36256
4	2	2	45.06528
6	2	2	12.35904
8	2	2	9.64608
10	2	2	13.86624
0	2	3	87.0408
2	2	3	24.492
4	2	3	112.6632
6	2	3	19.5936
8	2	3	46.3464
0	2	4	210.2544
2	2	4	189.1536
4	2	4	108.5184
6	2	4	151.4736
0	2	5	589.5036
2	2	5	597.4164
4	2	5	245.2968

Lintasan 2

- 2 (spasi elektroda)
- 3 (kode konfigurasi)
- 25 (Banyak data)
- 0 (posisi elektroda pertama)
- 0 (parameter yang dibaca)

0	2	1	11.22864
2	2	1	17.18208
4	2	1	10.02288
6	2	1	2.75064
8	2	1	3.27816
10	2	1	10.58808
12	2	1	8.02584
0	2	2	29.99328
2	2	2	12.20832
4	2	2	10.85184
6	2	2	14.92128
8	2	2	13.11264
10	2	2	20.19648
0	2	3	36.1728
2	2	3	30.5208
4	2	3	8.2896
6	2	3	32.028
8	2	3	24.492
0	2	4	27.1296
2	2	4	33.1584
4	2	4	39.9408
6	2	4	50.4912
0	2	5	65.94
2	2	5	71.2152
4	2	5	76.4904

Lintasan 3

- 2 (spasi elektroda)
- 3 (kode konfigurasi)
- 25 (Banyak data)
- 0 (posisi elektroda pertama)
- 0 (parameter yang dibaca)

0	2	1	107.2373
2	2	1	96.4608
4	2	1	103.2432
6	2	1	68.46456
8	2	1	98.08104
10	2	1	51.96072
12	2	1	84.81768
0	2	2	151.0214
2	2	2	59.38368
4	2	2	135.7987
6	2	2	59.5344
8	2	2	157.201
10	2	2	62.24736
0	2	3	194.8056
2	2	3	298.0488
4	2	3	151.4736
6	2	3	183.1248
8	2	3	171.8208
0	2	4	561.432
2	2	4	548.6208
4	2	4	610.416
6	2	4	567.4608
0	2	5	847.9884
2	2	5	1039.214
4	2	5	981.1872

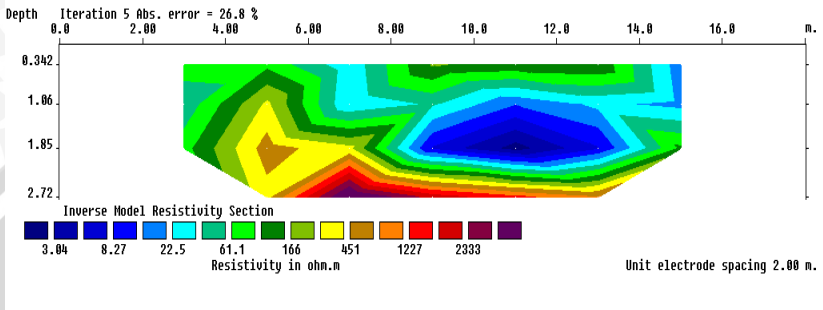
Lintasan 4

- 2 (spasi elektroda)
- 3 (kode konfigurasi)
- 25 (Banyak data)
- 0 (posisi elektroda pertama)
- 0 (parameter yang dibaca)

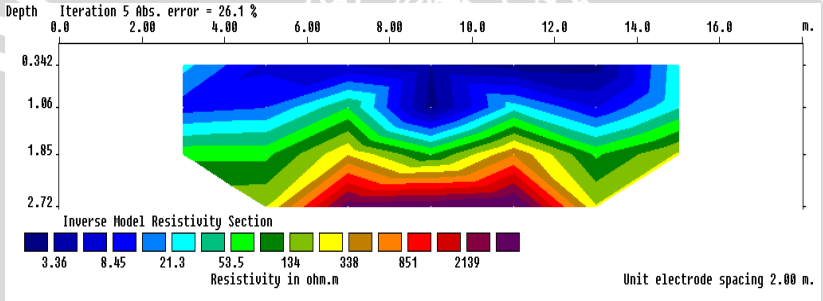
0	2	1	127.9236
2	2	1	78.44976
4	2	1	148.4215
6	2	1	78.52512
8	2	1	133.5002
10	2	1	50.37816
12	2	1	103.0548
0	2	2	179.5075
2	2	2	129.7699
4	2	2	149.2128
6	2	2	43.7088
8	2	2	41.448
10	2	2	66.3168
0	2	3	219.6744
2	2	3	326.3088
4	2	3	87.7944
6	2	3	260.7456
8	2	3	210.6312
0	2	4	678.9936
2	2	4	282.6
4	2	4	422.016
6	2	4	400.1616
0	2	5	847.9884
2	2	5	758.31
4	2	5	1155.269

Lampiran 5. Pemodelan 2D hasil Res2Dinv

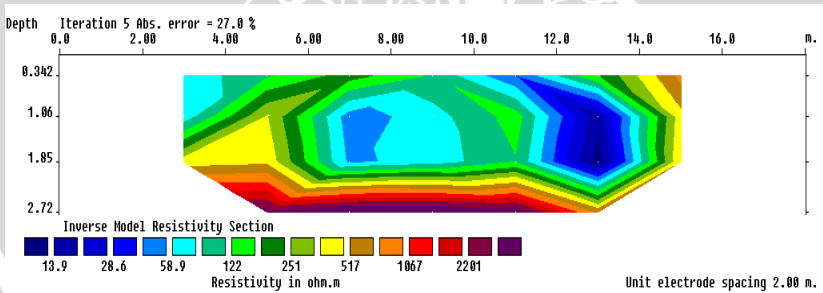
Lintasan 1



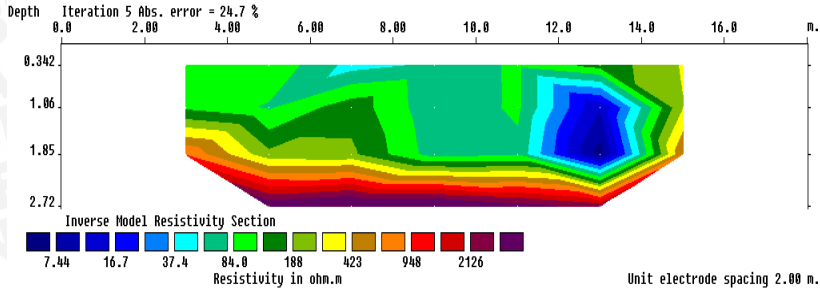
Lintasan 2



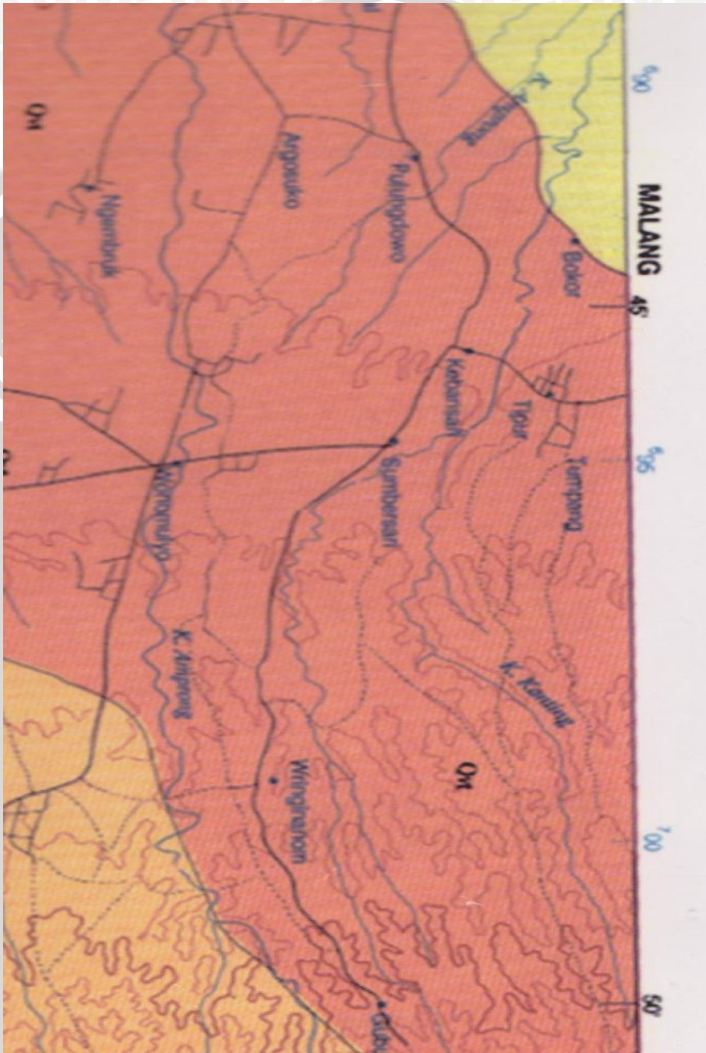
Lintasan 3



Lintasan 4



Lampiran 6. Peta Geologi Kecamatan Tumpang



Tumpang mempunyai formasi geologi Qvt atau batuan gunung api tengger. Batuan gunung api tengger tersusun dari tuf pasir, tuf batu apung, tuf abu dan tuf aglomerat.