

IDENTIFIKASI KEDALAMAN DAN STRUKTUR LAPISAN BAWAH TANAH CANDI JAJAGHU BERDASARKAN NILAI RESISTIVITAS DENGAN MENGGUNAKAN METODE GEOLISTRIK KONFIGURASI DIPOLE-DIPOLE

Aunur Rozaq, Adi Susilo, Wasis

Jurusan Fisika FMIPA, Universitas Brawijaya, Jl. Veteran, Malang, Indonesia, 65145

E-mail: Aunur Rozaq@gmail.com

ABSTRAK

Penelitian ini telah dilakukan di candi Jajaghu didaerah Kecamatan Tumpang Kabupaten Malang. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui kedalaman dan struktur lapisan bawah tanah candi Jajaghu berdasarkan nilai resistivitas dengan menggunakan metode geolistrik konfigurasi dipole-dipole. Metode geolistrik merupakan salah satu metode geofisika untuk menduga kondisi geologi bawah permukaan, khususnya macam dan sifat batuan berdasarkan sifat-sifat kelistrikan batuan. Berdasarkan data sifat kelistrikan batuan yang berupa besaran tahanan jenis (resistivity)

Penelitian ini dilakukan dengan membuat empat lintasan, panjang sebesar : Lintasan I : 18m, Lintasan II : 16m, Lintasan III : 34m, Lintasan IV : 36m, dan pengolahan data menggunakan perangkat lunak Res2dinv. Masing-masing lintasan menunjukkan bahwa daerah penelitian yang didominasi oleh lapisan lempung dengan nilai resistivitas berkisar $6,54\Omega$ sampai $24,6\Omega$ pada kedalaman sekitar 1,85m sampai 7,15m.

Kata Kunci : Metode Geolistrik, Konfigurasi Dipole-dipole, Resistivitas

Pendahuluan

Negara Indonesia merupakan salah satu negara di dunia yang memiliki banyak warisan budaya nasional diantaranya bangunan dan benda peninggalan pada masa kerajaan, salah satu dari bangunan peninggalan yang ada di masa sekarang mempunyai nilai sejarah tinggi adalah kompleks candi Jajaghu yang ditemukan pada tahun 1834 terletak di Dusun Jago, Desa Tumpang, Kabupaten Malang. Candi ini mempunyai bentuk unik jika dibandingkan dengan candi-candi lainnya diantaranya kaki candi terdiri dari tiga tingkat. Tingkat pertama memiliki delapan anak tangga, tingkat kedua memiliki empat belas anak tangga, dan tingkat ketiga memiliki tujuh anak tangga. Keberadaan candi ini kurang mendapat perhatian oleh Dinas Kepariwisata Pemkab Malang, hal ini terlihat dari kondisi bangunan yang sudah mulai rusak dan atap candi yang sudah hilang.

Ratusan candi yang pernah ada di Indonesia hanya seratus sampai dua ratus yang tampak. Candi-candi lain masih terpendam di dalam tanah karena beberapa faktor penyebab, seperti tertimbun lahar akibat letusan gunung api dan gempa bumi. Sementara itu candi yang telah berada di permukaan, sebagian ditemukan dalam keadaan berantakan atau tidak utuh lagi. Oleh karena itu perlu dilakukan penelitian mengenai indentifikasi kedalaman dan struktur lapisan bawah tanah sekitar candi. Penelitian ini akan mengidentifikasi candi Jajaghu dengan menggunakan metode geolistrik konfigurasi dipole-dipole.

Metode ini digunakan untuk menggali informasi tentang kondisi geologi bawah permukaan candi sehingga dapat diketahui pondasi-pondasi

bawah tanah candi dan memprediksi susunan batuan candi yang masih terkubur di dalam tanah.

Metode Geolistrik Tahanan Jenis (Resistivitas)

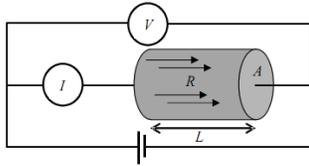
Metode geolistrik merupakan salah satu metode Geofisika yang mempelajari sifat aliran listrik di dalam bumi dan cara untuk mendeteksi aliran di permukaan bumi. Hal ini meliputi pengukuran potensial dan pengukuran arus yang terjadi baik secara alamiah maupun akibat injeksi arus kedalam bumi. Oleh karena itu metode geolistrik mempunyai banyak macam, salah satunya adalah metode geolistrik tahanan jenis (resistivitas) (Hendrajaya, 1990). Tujuan survei geolistrik adalah untuk menentukan distribusi resistivitas bawah permukaan dengan cara membuat pengukuran di permukaan tanah. Pengukuran resistivitas yang normal dibuat dengan cara menginjeksikan arus ke dalam tanah melalui dua elektroda arus dan mengukur beda tegangan yang dihasilkan pada dua elektroda potensial. Sehingga resistivitas bawah permukaan dapat diperkirakan. Resistivitas tanah berkaitan dengan berbagai parameter geologi seperti mineral dan konten cairan, porositas, derajat patahan, persentase patahan yang terisi air tanah dan derajat saturasi air di batuan (Singh, 2004).

Berdasarkan hukum Ohm diketahui bahwa besar tegangan V suatu material bergantung pada kuat arus I dan hambatan listrik R yang dirumuskan sebagai berikut:

$$V = IR \quad (1)$$

Studi hambatan listrik dapat dipahami dalam konteks dari aliran arus melalui medium di bawah permukaan yang terdiri dari lapisan bahan dengan resistivitas yang berbeda. Secara sederhana semua

lapisan dapat diasumsikan horisontal. Resistivitas bahan ρ merupakan parameter ukur seberapa baik bahan menghambat aliran arus listrik (Herman, 2001).



Gambar 1 Arus yang dialirkan di dalam material konduktif berbentuk silinder (Telford dkk, 1976)

Jika suatu material konduktif berbentuk silinder yang homogen memiliki panjang sebesar L dan luas penampang A maka resistivitasnya sebesar:

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

Persamaan (1) dan persamaan (2) saling disubstitusikan dan menjadi persamaan (3)

$$\rho = \frac{VA}{IL} \quad (3)$$

dimana V merupakan beda potensial (Volt) dan I merupakan kuat arus yang melalui bahan (Ampere) (Telford dkk, 1976).

Batuan umumnya mempunyai sifat kelistrikan yang berupa daya hantar listrik (konduktivitas) dan konstanta dielektrik. Konstanta dielektrik merupakan polarisasi material dalam suatu medium listrik. Konstanta dielektrik menentukan kapasitas induktif efektif dari suatu material batuan dan merupakan respon statik untuk medan listrik AC maupun DC (Dobrin, 1998). Menurut Telford (1982) harga resistivitas listrik batuan dan mineral dapat dikelompokkan menjadi tiga, yaitu:

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

Sedangkan menurut Roy mengklasifikasikan sesuai dengan Tabel 1

Tabel 1 Daftar harga resistivitas tanah/batuan

Jenis tanah/Batuan	Resistivity (Ωm)
Tanah lempung, basah lembek	1,5-3,0
Tanah lanau & tanah lanau basah lembek	3-15
Tanah lanau, pasir	15-150
Batuan dasar berkekarerisi tanah lembab	150-300
Pasir kerikil terdapat lapisan lanau	± 300 300-2400
Batuan dasar terisi tanah kering	>2400
Batuan dasar tak lapuk	

(Roy, 1984)

Konfigurasi dipole-dipole

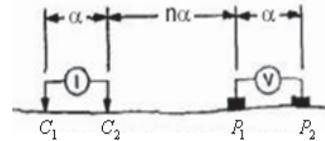
Metode geolistrik mencari tahanan jenis (resistivitas) tanah pada kedalaman di bawah permukaan. Arus listrik dialirkan ke dalam bumi

melalui dua elektroda arus dan beda potensial diukur dipermukaan bumi melalui dua elektroda potensial. Berbagai macam aturan yang dipakai untuk menempatkan elektroda tersebut. Aturan-aturan penempatan keempat elektroda tersebut dinamai sebagai konfigurasi elektroda.

Metode geolistrik yang sering digunakan sejauh ini terbatas pada konfigurasi Schlumberger dan konfigurasi Wenner di Indonesia. Kedua konfigurasi ini digunakan dalam pelaksanaan di lapangan yang tidak terlalu sulit (cukup datar dan luas), dan penetrasi yang tidak terlalu dalam. Sedangkan metode resistivitas pada sounding listrik digunakan untuk penetrasi dalam. Kedua konfigurasi tersebut menjadi sangat lemah apabila dilakukan pada penetrasi yang dalam, karena membutuhkan bentangan elektroda lurus yang panjang sehingga membutuhkan keadaan lapangan yang baik (merata) dan tuntutan perubahan bentangan yang memakan waktu lama.

Kelemahan kedua konfigurasi dapat diatasi dengan menggunakan konfigurasi elektroda dipole-dipole yang prinsipnya mempunyai keunggulan dalam pelaksanaannya.

Keunggulannya yaitu perubahan bentangan yang relatif pendek (Hendrajaya, 1990). Susunan konfigurasi elektroda dipole-dipole ditunjukkan pada Gambar 2



Gambar 2 Konfigurasi elektroda dipole-dipole (Morais, 2008)

Gambar 2 menunjukkan konfigurasi dipole-dipole pada dua elektroda potensial yang diletakkan di luar elektroda arus. α merupakan jarak antara kedua elektroda potensial, sedangkan $n\alpha$ merupakan jarak antara elektroda arus dan elektroda potensial bagian dalam (C_2 dan P_1), dimana $n = 1,2,3\dots$ (bilangan bulat). Jika n semakin besar maka kedalaman penyelidikan akan semakin besar.

Masing-masing konfigurasi elektroda mempunyai faktor geometri yang berbeda. Faktor geometri konfigurasi dipole-dipole adalah

$$K = 2\pi \left(\frac{1}{\alpha + n\alpha} - \frac{1}{\alpha} - \frac{1}{2\alpha + n\alpha} + \frac{1}{\alpha + n\alpha} \right)^{-1} \quad (4)$$

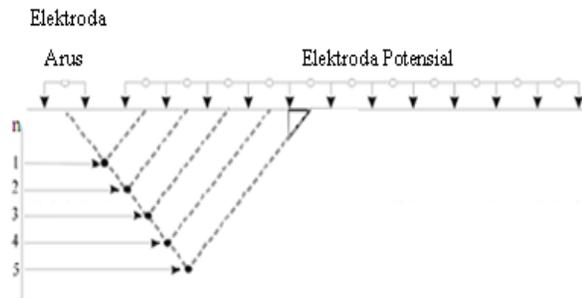
$$K = \pi \alpha n(n+1)(n+2) \quad (5)$$

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).

Pemodelan Metode Geolistrik

Res2dinv adalah program komputer yang secara otomatis akan menentukan model resistivitas dua dimensi (2-D) di bawah permukaan dengan data sumber yang diperoleh dari survei geolistrik. Program berbasis Windows dan printer didukung secara otomatis. Telah diuji dengan layar modus video dari 1.600 hingga 1.200 pixel dan 256 warna. Program ini dirancang untuk membalikkan kumpulan data besar (sekitar 200-6.500 data) yang dikumpulkan dengan sistem berjumlah elektroda yang besar (sekitar 25 hingga 1.800 elektroda) (Anonymous 3, 2011).

Model dua dimensi digunakan oleh program inversi. Model terdiri dari sejumlah blok segi empat yang ditunjukkan pada Gambar 3. Pengaturan blok secara bebas terikat dengan distribusi dari data dalam *pseudosection*. Distribusi dan ukuran blok dibuat secara otomatis oleh program sehingga jumlah blok biasanya tidak melebihi jumlah data. Namun, program ini memiliki pilihan yang memungkinkan pengguna untuk menggunakan model yang dapat melebihi jumlah data. Kedalaman bawah tanah pada blok tersebut ditetapkan menjadi kedalaman yang setara dari hasil penyidikan berdasarkan titik data jarak elektroda terbesar. Survei ini biasanya dilakukan dengan sistem yang elektrodanya dapat diatur sepanjang baris dengan jarak konstan antara elektroda yang berdekatan. Namun, program ini juga mampu menangani data set yang berjarak elektroda yang tidak seragam. Susunan blok model dan datum point resistivitas semu ditunjukkan pada Gambar 3



Gambar 3 Urutan pengukuran menggunakan multi-elektroda (Morais, 2008)

Metodologi

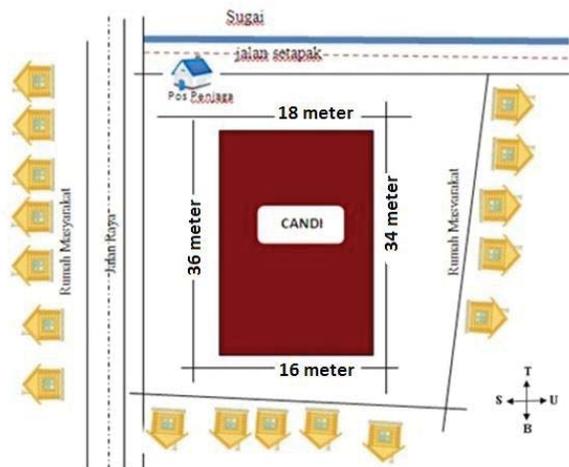
Alat yang digunakan di dalam penelitian adalah seperangkat alat geolistrik metode konfigurasi dipole-dipole dengan peralatan sebagai berikut :

Alat dan Bahan

- 1 Resistivitymeter Mc Ohm-El "Model-2119"
- 2 Elektroda Arus
- 2 Elektroda Potensial
- 1 Accu
- 3 Palu

- 4 Kabel Roll
- 1 Meteran
- 1 GPS
- 1 Kompas

Pengambilan data diambil menjadi empat lintasan di sekitar candi. Panjang masing-masing lintasan ditentukan yaitu lintasan I 18 m, lintasan II 16 m, lintasan III 34 m, dan lintasan IV 36 m. . Lintasan pertama dan kedua memiliki panjang 16 m dan 18 m yang membujur dari utara ke selatan. Arah bentangan lintasan pertama N 15°E dan lintasan kedua N 19°E. Lintasan ketiga dan keempat memiliki panjang 34 m dan 36 m yang membujur dari timur ke barat. Arah bentangan lintasan ketiga N 267°E dan lintasan keempat N 264°E. Masing-masing lintasan ditunjukkan pada Gambar 3.



Gambar 3 Sketsa daerah penelitian

Data yang diambil dari penelitian ini adalah nilai Z yang merupakan pergeseran elektroda arus yang dilambangkan dengan bilangan bulat. Besar perpindahan elektroda merupakan kelipatan dari nilai α . Nilai α sendiri merupakan unit spasi terkecil antar elektroda yang bernilai konstan. Sedangkan nilai n merupakan pergeseran elektroda potensial yang dilambangkan dengan bilangan bulat.

Pengolahan data yang dilakukan pertama kali adalah data primer yang didapatkan dari setiap lintasan. Hasilnya akan didapatkan besar arus dan resistansi semu (K) dari persamaan (5)

Nilai tersebut akan didapatkan nilai resistansi sebenarnya dengan menggunakan persamaan (6)

$$\rho = RK \quad (6)$$

Hubungan antara resistivitas semu dan resistivitas sebenarnya sangat kompleks, sehingga untuk menentukan nilai resistivitas bawah permukaan yang sebenarnya diperlukan perhitungan secara inversi dengan menggunakan bantuan perangkat lunak. Penelitian ini menggunakan perangkat lunak *Res2dinv* untuk mengolah data-datanya.

Hasil Penelitian

Dari keempat lintasan tersebut diperoleh hasil interpretasi antara kedalaman, material penyusun dan besar nilai resistivitas bawah permukaan dari model 2D pada daerah disekitar candi jago dapat dilihat pada tabel 4.5 berikut :

Tabel 4.5 Interpretasi struktur bawah permukaan pada lintasan 1-4

Lintasan	Kedalaman (m)	Nilai Resistivitas (Ωm)	Jenis Tanah
1	0,3-1,06	41,2-47,0	Pasiran
	0,3-1,06	35,5	Tanah lanauan, pasirian
	1,06-1,8	24,1-29,8	Tanah lanauan
	1,8-2,7	6,9-12,7	Tanah lanauan dan tanah lanauan basah lembek
2	0,3-1,06	67,1-99,0	Pasiran
	0,3-1,8	45,5	Tanah lanauan, pasirian
	0,3-3,6	20,9-30,9	Tanah lanauan
	2,7-3,6	6,5-9,6	Tanah lanauan dan tanah lanauan basah lembek
3	0,3-0,8	151-253	Pasiran
	0,3-0,8	151-253	Tanah lanauan, pasirian
	0,3-2,9	32,5-54,2	Tanah lanauan
	2,9-5,8	6,9-11,6	Pasiran
4	0,3-1,05	69,8	Batuan dasar berkarakterisi tanahh lembab
	0,3-1,05	51,7-60,8	Pasiran
	0,3-1,8	51,7	Tanah lanauan, pasirian
	1,8-5,8	33,7-42,7	Tanah lanauan
	2,9-8,5	6,5-15,6	Pasiran

Batuan merupakan material bawah permukaan yang dapat memiliki kemampuan dalam menghantarkan arus listrik dan memiliki nilai resistivitas tertentu pada masing-masing batuan. Batuan yang sama belum tentu memiliki nilai resistivitas yang sama begitu juga sebaliknya. Hal ini dapat terjadi karena setiap batuan memiliki nilai rentang resistivitas yang dapat saling *overlap*. Oleh karena itu, perlu dilakukan korelasi antara kondisi geologi daerah tersebut dengan hasil pengukuran.

Struktur bawah permukaan daerah penelitian dengan kedalaman 8,55 meter terdiri dari beberapa lapisan yaitu lapisan batuan dasar berkarakterisi tanahh lembab, lapisan pasirian, lapisan tanah lanauan bercampur pasirian, lapisan lanauan dan lapisan lanauan bercampur lanauan basah lembek.

Lapisan pasirian adalah material butiran yang terdiri dari pasir dan kerikil. Butiran pasir umumnya berukuran antara 0,0625 sampai 2 milimeter. Materi pembentuk pasir adalah silikon dioksida.

Lapisan tanah lanauan bercampur pasirian adalah campuran batuan yang berasal dari lempung dan pasir. Biasanya volume unsur dari lempung lebih banyak dari pasir atau sebaliknya. Lapisan tanah lanauan bercampur pasirian berbeda pada kedalaman antara 0,3 meter sampai 1,8 meter dengan harga resistivitas sebesar 32,5 Ωm hingga 54,7 Ωm .

Lapisan lanauan adalah batuan yang dihasilkan dari proses pelapukan batuan silika oleh asam karbonat dan sebagian dihasilkan dari aktivitas panas bumi, batuan ini memiliki sifat yang cukup kedap air yaitu hanya dapat menyimpan air tetapi tidak menyalurkannya. Batu lempung ini memiliki harga resistivitas sebesar 20'9 Ωm hingga 42,9 Ωm dengan kedalaman 0,3 hingga 5,8 meter.

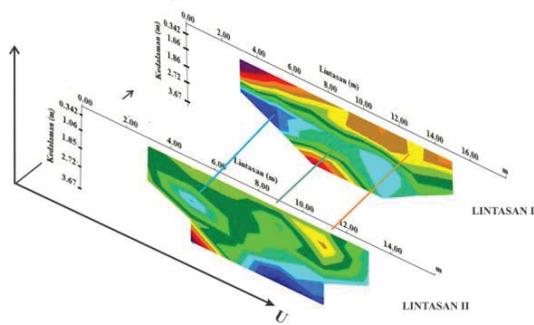
Lapisan tanah lanauan bercampur lanauan basah lembek adalah partikel mineral berkerangka dasar silikat yang diameter kurang dari 4 mikrometer. Lapisan mengandung leburan silika atau alumunium yang halus. Unsur-unsur ini adalah silikon, oksigen, dan alumunium adalah unsur yang paling banyak menyusun kerak bumi. Lapisan ini terbentuk dari proses pelapukan batuan silika oleh asam karbonat dan sebagian dihasilkan dari aktivitas panas bumi, membentuk gumpalan keras saat kering dan lengket apabila basah terkena air. Lapisan ini berada pada kedalaman antara 1,8 meter sampai 5,8 meter dan memiliki harga resistivitas sebesar 6,5 Ωm sampai 12,7 Ωm .

Berdasarkan lapisan penyusun batuan dari keempat lintasan dan dikorelasikan dengan peta daerah penelitian makan batuan di daerah candi jago di dominasi oleh lapisan tanah lanauan, banyaknya jumlah lapisan penampang yang terlihat disebabkan lapisan lempung berasosiasi dengan kadar kandungan yang berbeda, sehingga hasil data seolah-olah menghasilkan lapisan berjumlah banyak. Hal ini dikarenakan adanya *aquifer* air di sekitar candi.

Interpolasi lintasan 1 dan lintasan 2

Berdasarkan hasil interpolasi diketahui bahwa terdapat persamaan penyusun batuan antara lintasan 1 dan lintasan 2 dengan model penampang lintasan berbeda seperti gambar 4.5

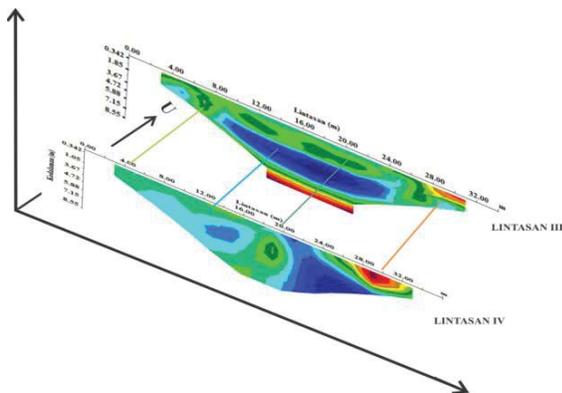
Dari interpolasi gambar 4.5 dengan kedalaman 0,3 meter sampai 1,8 meter memiliki batuan penyusun yang sama yaitu pasirian dan tanah lanauan bercampur pasirian. Sedangkan pada kedalaman 1,8 meter sampai 3,6 meter memiliki batuan penyusun yang sama yaitu tanah lanauan bercampur pasirian dan tanah lanauan bercampur tanah lanauan lembek.



Gambar 4.5 Interpolasi lintasan 1 dan 2

Interpolasi lintasan 3 dan lintasan 4

Interpolasi lain yang dilakukan juga yaitu interpolasi antara lintasan 3 dan 4 seperti gambar 4.6. dari hasil interpretasi dan interpolasi (Gambar 4.6) dapat diketahui jika di interpolasikan antara kedua lintasan tersebut pada kedalaman 0,3-3,6 meter pada lintasan 3 dengan jarak 34 meter memiliki lapisan batuan penyusun yaitu pasirian, tanah lanauan bercampur pasirian. Sedangkan pada lintasan ke 4 dengan jarak 38 meter adalah pasirian, tanah lanauan bercampur pasirian dan batuan dasar berkarakterisi lembab. Pada kedalaman 2,99-5,8 pada lintasan 3 dan lintasan 4 memiliki lapisan batuan penyusun yang sama yaitu tanah lanauan dan tanah lanauan bercampur tanah lanauan basah lembek.



Gambar 4.6 Interpolasi lintasan 3 dan 4

Berdasarkan hasil interpolasi secara keseluruhan yaitu semua lintasan dapat diketahui batuan penyusun lapisan bawah permukaan yaitu terdiri dari pasirian, tanah lanauan bercampur pasirian, tanah lanauan dan tanah lanauan bercampur tanah lanauan lembek.

Pada penelitian ini terlihat pada lintasan 4 pada kedalaman 0.3-1,05 meter terdapat batuan dasar berkarakteristik, ini menandakan bahwa adanya kemungkinan kaki candi sebagian pondasi mengalami penurunan karena adanya pergeseran tanah yang disebabkan posisi candi jago pada wilayah yang menanjak.

Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan diperoleh kesimpulan berdasarkan hasil interpretasi pada lintasan pertama memiliki nilai resistivitas antara 6,99 Ωm -47,0 Ωm , untuk lintasan kedua memiliki nilai resistivitas antara 6,54 Ωm -99,0 Ωm , pada lintasan ketiga diperoleh nilai resistivitas antara 6,96 Ωm -253 Ωm , sedangkan pada lintasan keempat diperoleh nilai resistivitas antara 6,56 Ωm -69,8 Ωm . Dengan bentang lintasan pertama 18 meter, lintasan kedua 16 meter, lintasan ke tiga 34 meter dan lintasan keempat 36 meter. Batuan atau material penyusun lapisan bawah permukaan keempat lintasan relative sama yaitu terdiri dari 4 jenis material yaitu lapisan pasirian, lapisan tanah lanauan bercampur pasirian, lapisan lanauan dan lapisan tanah lanauan bercampur lanauan basah lembek.

Berdasarkan lapisan penyusun batuan dari keempat lintasan dan dikorelasikan dengan peta geologi tempat penelitian, maka batuan daerah candi jago di dominasi oleh lapisan tanah lanauan, banyaknya jumlah lapisan penampang yang terlihat disebabkan lapisan lempung berasosiasi dengan kadar kandungan yang berbeda, sehingga hasil data seolah-olah menghasilkan lapisan berjumlah banyak. Hal ini menandakan adanya *aquifer* air di sekitar candi.

Daftar Pustaka

- [1] Anonymous 3.2001.Res2dinv ver 3.4 for Windows 95/98/Me/2000/NT/XP. www.heritagegeophysics.com/images/res2Dinvmanual.pdf
- [2] Dobrin, Milton B. 1998. *Introduction to Geophysical Prospecting*, edisi ke-4. Singapore.Mc Graw Hill Book.
- [3] Hendrajaya, Lilik dan Idam Arif.1990.Geolistrik Tahanan Jenis.1990.Bandung Laboratorium Fisika Bumi Jurusan Fisika FMIPA ITB
- [4] Morais, Fernando. Study Of Flow In Vadose Zone From Electrical Resistivity Surveys. Journal of Sociedade Brasileira de Geofisica. Vol.26: 115-122.
- [5] Roy, E. 1984. Geotechnical Engineering Investigation Manual. Mc Graw Hill. New York
- [6] Singh, K.B, Lokhande, R.D and Prakash, A.2004.Multielectrode resistivity imaging technique for the study of coal seam. Central Mining Research Institute. Journal of Scientific and Industrial Research. Vol. 63. pp 927-930
- [7] Telford, W.M, Geldart, L.P., Sheriff, dan Keys, D.A.1976:Applied peophysics, Cambridgege University Pres, London