

Pengaruh Kadar Air Tanah Lempung Terhadap Nilai Resistivitas/Tahanan Jenis pada Model Fisik dengan Metode ERT (Electrical Resistivity Tomography)

Heni Dewi Saidah, Eko Andi Suryo, Suroso

Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Brawijaya

Jl. MT. Haryono No.167, Malang 65145

E-mail: hdewisaidah@yahoo.com

ABSTRAK

Banyak sekali metode penyelidikan tanah yang sering dilakukan di lapangan. Salah satu alternatif yang bisa dilakukan adalah geolistrik (ERT). Keunggulannya, yaitu waktu yang dibutuhkan dalam pelaksanaannya relatif lebih singkat serta biaya yang dibutuhkan untuk peralatan dan mobilisasi lebih murah. Material yang digunakan dalam penelitian ini adalah tanah lempung ekspansif serta tanah pasir. Tanah tersebut dimasukkan ke dalam kotak dari bahan yang bersifat isolator dengan ukuran 0,5 m x 0,15 m x 0,15 m. Jumlah model test yang digunakan adalah 9 model percobaan. Tujuannya untuk mengetahui nilai resistivitas tanah lempung dengan tiga variasi kadar air, sebesar 22%, 27%, dan 32% untuk kepadatan yang sama. Sedangkan untuk tanah pasir digunakan kadar air sebesar 7%. Selain itu, model dibuat dalam tiga jenis lapisan yang berbeda untuk setiap nilai kadar air, yaitu jenis lapisan horisontal, vertikal, dan diagonal. Metode yang digunakan adalah metode schlumberger dan dibantu dengan alat resistivitymeter. Alat tersebut terhubung dengan elektrode yang diinjeksikan ke dalam tanah yang diteliti sehingga akan menghasilkan nilai beda potensial dan arus yang selanjutnya dapat menampilkan resistivitas bawah permukaan. Hasil dari penelitian ini menunjukkan bahwa dengan penambahan kadar air dapat menurunkan nilai resistivitas, misal untuk nilai minimum diperoleh hasil 40,52 Ωm menjadi 25,63 Ωm dan 11,89 Ωm . Selain itu, hasil inversi 2 dimensi menunjukkan perbedaan gradasi warna untuk setiap lapisan. Sehingga dapat disimpulkan bahwa kadar air dan jenis lapisan tanah berpengaruh terhadap nilai resistivitas hasil dari geolistrik.

Kata Kunci: kadar air, resistivitas, ERT, tanah lempung

PENDAHULUAN

Penyelidikan kondisi atau kestabilan tanah menjadi hal yang wajib dilakukan sebelum melaksanakan konstruksi. Macam-macam penyelidikan yang sering dilakukan adalah DPC, bor mesin, pengujian penetrasi dengan SPT, sondir, *pizocone*, dll. Namun penyelidikan tersebut, membutuhkan mobilisasi dan persiapan yang mahal dan lama. Sehingga dibutuhkan metode yang lebih aman serta memberi hasil yang cepat dan akurat. Alternatif yang bisa dipakai adalah metode geolistrik atau ERT (*Electrical Resistivity Tomography*).

Penelitian terdahulu tentang geolistrik pernah dilakukan oleh Muhammad Ato'urrahman (2014) yaitu untuk mengetahui pengaruh kepadatan tanah pasir. Untuk penelitian ini, tujuannya adalah untuk mengetahui pengaruh kadar air tanah lempung dan jenis lapisan tanah terhadap hasil dari aplikasi geolistrik yang akan

dibandingkan dengan parameter tanah yang telah diuji sebelumnya.

TINJAUAN PUSTAKA

Tanah pasir

Pasir (sand) merupakan partikel batuan yang berukuran 0,074 mm sampai 5 mm (Bowles, 1991). Tanah pasir merupakan tanah yang memiliki butiran tanah yang terpisah dalam keadaan kering dan hanya melekat pada keadaan basah akibat gaya tarik.

Tanah lempung

Tanah lempung merupakan partikel mineral yang berukuran lebih kecil dari 0,002 mm. Partikel-partikel ini merupakan sumber utama dari kohesi di dalam tanah yang kohesif (Bowles, 1991).

Kadar air (water content)

Dirumuskan sebagai berikut :

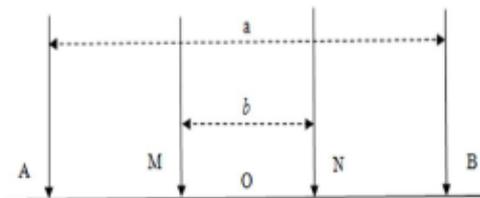
$$w = \frac{W_w}{W_s}$$

Faktor yang mempegaruhi perubahan kadar air antara lain:

- Tipe dan jumlah mineral lempung yang ada dalam tanah
- Luas spesifik lempung
- Susunan tanah
- Konsentrasi garam dalam air pori
- Adanya bahan-bahan organik

Metode schlumberger

Pada metode *Schlumberger* jarak elektrode arus berubah secara teratur dan jarak elektrode potensial tetap (Sheriff, 1976). Sehingga akan diperoleh harga-harga tahanan jenis pada kedalaman yang sesuai dengan jarak alektrode. Kelebihan dari metode *Schlumberger* adalah dapat mendeteksi adanya sifat tidak homogen lapisan batuan pada permukaan dengan membandingkan nilai resistivitas semu ketika terjadi perubahan jarak elektrode.



Gambar 1 Susunan Elektroda Konfigurasi Schlumberger

Resistivitas Batuan dan Mineral

Resistivitas atau tahanan jenis merupakan kemampuan untuk dilewati arus listrik. Faktor-faktor yang mempengaruhi besarnya harga tahanan jenis menurut Rolia (2011) adalah:

- Jenis material
- Kandungan air dalam batuan
- Porositas batuan
- Sifat kimiawi

Harga resistivitas jenis batuan dan mineral dapat dilihat dari tabel kisaran resistivitas batuan.

Tabel 1 Tabel Variasi Harga Thanan Jenis dari Beberapa Jenis Batuan Sedimen (Rolia Eva, 2011)

Jenis Batuan	Nilai Tahanan Jenis (Ωm)
Lempung	3 – 30
Lempung Berdebu	5 – 40
Pasir Berlempung	5 – 50
Lempung Berpasir	30 - 100
Lempung Shale	50 - 200
Pasir, Gravel	$10^2 - 5 \cdot 10^3$
Gips, Batu Gamping	$10^2 - 5 \cdot 10^3$
Batuan Kristalin	$2 \cdot 10^2 - 10^3$
Batu Bergaram, Anhydrate	$2 \cdot 10^3 <$

METODE PENELITIAN

Penelitian dilakukan dengan menggunakan metode Schlumberger. Tanah yang digunakan adalah tanah pasir dan tanah lempung dengan kadar air dan bentuk lapisan model yang divariasi yaitu horisontal, vertikal dan diagonal. Penelitian dilakukan dengan menginjeksikan arus ke tanah dengan susunan elektrode sesuai metode yang digunakan. Kemudian dicatat beda potensial dan arus yang ditampilkan. Selanjutnya bisa diolah menggunakan *software Res2dinv*. Penelitian dilakukan di Laboratorium Mekanika Tanah dan Geologi Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Brawijaya Malang.

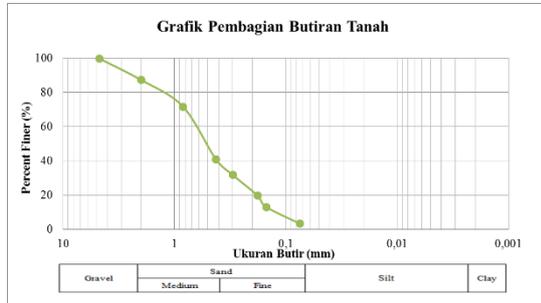
Sebelum melakukan uji geolistrik, terlebih dahulu dilakukan pengujian dasar sifat fisik tanah antara lain:

- Pemeriksaan analisis saringan menurut ASTM C-136-46
- Pemeriksaan berat jenis butiran tanah mengikuti ASTM D-854-58
- Pemeriksaan kepadatan standart (*compaction*) mengikuti ASTM D-698-70
- Pemeriksaan kadar air tanah mengikuti ASTM D-2216

HASIL DAN PEMBAHASAN

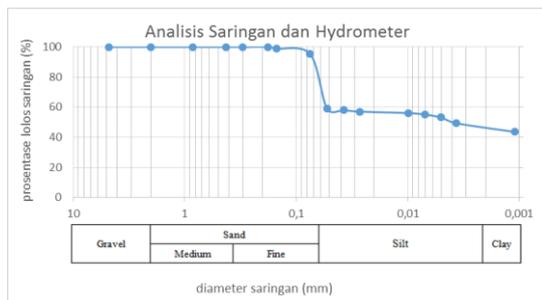
Analisis Gradasi Butiran Tanah

Untuk tanah pasir, diperoleh grafik sebagai berikut:



Gambar 2 Grafik Analisis Saringan Tanah Pasir

Sedangkan untuk tanah lempung, grafiknya sebagai berikut:



Gambar 3 Grafik Gabungan Analisis Saringan dan *Hydrometer*

Analisis *Specific Gravity*

Data hasil Analisis *Specific Gravity* ditunjukkan pada tabel di bawah ini:

Tabel 2 Nilai Rata-Rata *Specific Gravity* Tanah Pasir

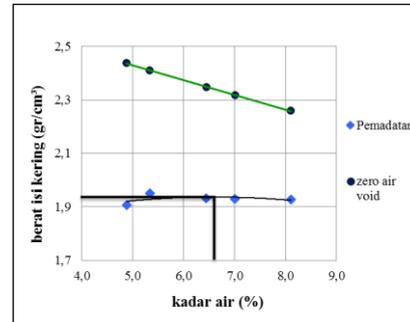
Labu Ukur	1	2	3
<i>Specific Gravity</i>	2,685	2,798	2,816
<i>Specific Gravity rata-rata</i>	2,766		

Tabel 3 Nilai Rata-Rata *Specific Gravity* Tanah Lempung

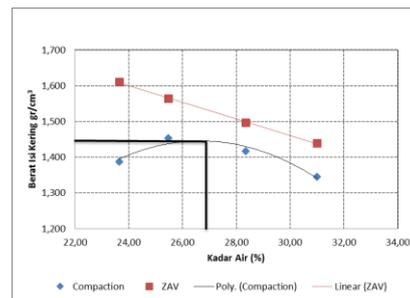
Labu Ukur	1	2	3
<i>Specific Gravity</i>	2,600	2,584	2,615
<i>Specific Gravity rata-rata</i>	2,600		

Analisis Kepadatan Tanah (*compaction*)

Grafik hubungan kadar air optimum dengan berat isi kering maksimum untuk tanah pasir dan tanah lempung pada percobaan ini ditunjukkan pada gambar berikut:



Gambar 4 Grafik Pemadatan Standar Tanah Pasir



Gambar 5 Grafik Pemadatan Standar Tanah Lempung

Hasil Pemeriksaan Kadar Air, Pemadatan, dan Derajat Kejenuhan pada Model Test

Hasil pemeriksaan kadar air, pemadatan, dan derajat kejenuhan pada model test ditunjukkan pada tabel berikut:

Tabel 4 Hasil Pemeriksaan w_c , γ_d , R_c , S_r , dan n pada Lapisan Horizontal dengan Penambahan Air pada Tanah Lempung sebesar 22 %

Parameter Model Test	Satuan	Lapisan Tanah 1 (Pasir)	Lapisan Tanah 2 (Lempung)	Lapisan Tanah 3 (Pasir)
Kadar air (w_c)	%	6	25	6
γ_a rata-rata	gram/cm ³	1,187	1,117	1,176
Kepadatan Relatif (R_c)	%	61	58	61
Derajat Kejenuhan (S_r)	%	12	47	13
Porositas	%	57	60	58

Tabel 5 Hasil Pemeriksaan w_c , γ_d , R_c , S_r , dan n pada Lapisan Horizontal dengan Penambahan Air pada Tanah Lempung sebesar 27 %

Parameter Model Test	Satuan	Lapisan Tanah 1 (Pasir)	Lapisan Tanah 2 (Lempung)	Lapisan Tanah 3 (Pasir)
Kadar air (w_c)	%	6	24,9	7
γ_d rata - rata	gram/cm ³	1,173	1,238	1,202
Kepadatan Relatif (R_c)	%	61	64	62
Derajat Kejuhan (S_r)	%	12	56	15
Porositas (n)	%	58	55	57

Tabel 6 Hasil Pemeriksaan w_c , γ_d , R_c , S_r , dan n pada Lapisan Horizontal dengan Penambahan Air pada Tanah Lempung sebesar 32 %

Parameter Model Test	Satuan	Lapisan Tanah 1 (Pasir)	Lapisan Tanah 2 (Lempung)	Lapisan Tanah 3 (Pasir)
Kadar air (w_c)	%	5	34	10
γ_d rata - rata	gram/cm ³	1,250	1,223	1,149
Kepadatan Relatif (R_c)	%	65	63	59
Derajat Kejuhan (S_r)	%	12	74	20
Porositas (n)	%	55	56	58

Tabel 7 Hasil Pemeriksaan w_c , γ_d , R_c , S_r , dan n pada Lapisan Vertikal dengan Penambahan Air pada Tanah Lempung sebesar 22 %

Parameter Model Test	Satuan	Lapisan Tanah 1 (Pasir)	Lapisan Tanah 2 (Lempung)	Lapisan Tanah 3 (Pasir)
Kadar air (w_c)	%	9	30	10
γ_d rata - rata	gram/cm ³	1,140	1,099	1,155
Kepadatan Relatif (R_c)	%	59	57	60
Derajat Kejuhan (S_r)	%	17	54	20
Porositas	%	59	60	58

Tabel 8 Hasil Pemeriksaan w_c , γ_d , R_c , S_r , dan n pada Lapisan Vertikal dengan Penambahan Air pada Tanah Lempung sebesar 27 %

Parameter Model Test	Satuan	Lapisan Tanah 1 (Pasir)	Lapisan Tanah 2 (Lempung)	Lapisan Tanah 3 (Pasir)
Kadar air (w_c)	%	9	33,0	11
γ_d rata - rata	gram/cm ³	1,182	1,182	1,134
Kepadatan Relatif (R_c)	%	61	61	59
Derajat Kejuhan (S_r)	%	19	68	22
Porositas (n)	%	57	57	59

Tabel 9 Hasil Pemeriksaan w_c , γ_d , R_c , S_r , dan n pada Lapisan Vertikal dengan Penambahan Air pada Tanah Lempung sebesar 32 %

Parameter Model Test	Satuan	Lapisan Tanah 1 (Pasir)	Lapisan Tanah 2 (Lempung)	Lapisan Tanah 3 (Pasir)
Kadar air (w_c)	%	9	41	10
γ_d rata - rata	gram/cm ³	1,199	1,164	1,155
Kepadatan Relatif (R_c)	%	62	60	60
Derajat Kejuhan (S_r)	%	19	83	20
Porositas (n)	%	57	58	58

Tabel 10 Hasil Pemeriksaan w_c , γ_d , R_c , S_r , dan n pada Lapisan Diagonal dengan Penambahan Air pada Tanah Lempung sebesar 22 %

Parameter Model Test	Satuan	Lapisan Tanah 1 (Pasir)	Lapisan Tanah 2 (Lempung)	Lapisan Tanah 3 (Pasir)
Kadar air (w_c)	%	10	34	12
γ_d rata - rata	gram/cm ³	1,149	1,117	1,176
Kepadatan Relatif (R_c)	%	59	58	61
Derajat Kejuhan (S_r)	%	20	63	24
Porositas	%	58	60	58

Tabel 11 Hasil Pemeriksaan w_c , γ_d , R_c , S_r , dan n pada Lapisan Diagonal dengan Penambahan Air pada Tanah Lempung sebesar 27 %

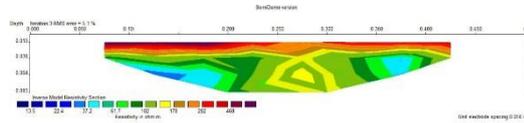
Parameter Model Test	Satuan	Lapisan Tanah 1 (Pasir)	Lapisan Tanah 2 (Lempung)	Lapisan Tanah 3 (Pasir)
Kadar air (w_c)	%	13	35,3	10
γ_d rata - rata	gram/cm ³	1,090	1,187	1,164
Kepadatan Relatif (R_c)	%	56	61	60
Derajat Kejuhan (S_r)	%	23	74	21
Porositas (n)	%	61	57	58

Tabel 12 Hasil Pemeriksaan w_c , γ_d , R_c , S_r , dan n pada Lapisan Diagonal dengan Penambahan Air pada Tanah Lempung sebesar 32 %

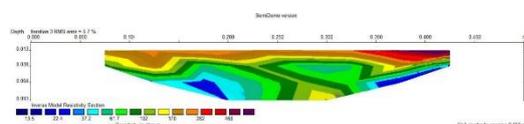
Parameter Model Test	Satuan	Lapisan Tanah 1 (Pasir)	Lapisan Tanah 2 (Lempung)	Lapisan Tanah 3 (Pasir)
Kadar air (w_c)	%	11	40	11
γ_d rata - rata	gram/cm ³	1,217	1,226	1,193
Kepadatan Relatif (R_c)	%	63	63	62
Derajat Kejuhan (S_r)	%	23	88	23
Porositas (n)	%	56	56	57

Hasil Inversi 2 Dimensi dan Interpretasi Model Test pada Lapisan Horizontal

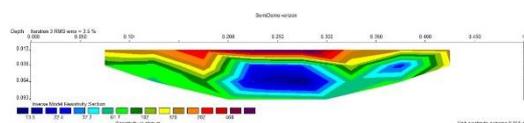
Pada gambar tersebut diperoleh model lapisan bawah permukaan dengan kedalaman 9,3 cm dengan panjang bentang 50 cm.



Gambar 6 Penampang Resistivitas 2D Lapisan Bawah Permukaan *Model Test* Horizontal untuk Kadar Air Tanah Lempung 22%



Gambar 7 Penampang Resistivitas 2D Lapisan Bawah Permukaan *Model Test* Horizontal untuk Kadar Air Tanah Lempung 27%



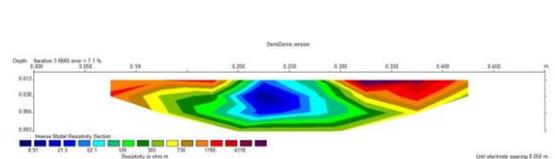
Gambar 8 Penampang Resistivitas 2D Lapisan Bawah Permukaan *Model Test* Horizontal untuk Kadar Air Tanah Lempung 32%

Nilai *RMS error* pada iterasi ke 3 untuk masing-masing kadar air adalah sebesar 5,1% untuk kadar air 22%; 5,7% untuk kadar air 27%; dan 3,5% untuk kadar air 32% dengan rentang nilai resistivitas antara 13,5 - 468 Ωm . Dari hasil model inversi resistivitas ini dapat diperkirakan bahwa lapisan bawah permukaan *model test* merupakan lapisan lempung dan pasir jika mengacu pada nilai resistivitas pada **Tabel 1**.

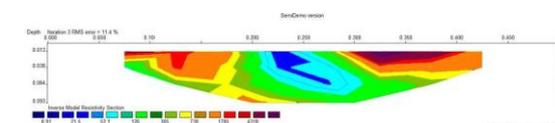
Dari gambar tersebut juga bisa dilihat adanya lapisan-lapisan yang mempunyai gradasi warna yang berbeda secara horisontal. Serta terjadi perubahan warna yang semakin gelap seiring bertambahnya kadar air.

Hasil Inversi 2 Dimensi dan Interpretasi Model Test pada Lapisan Vertikal

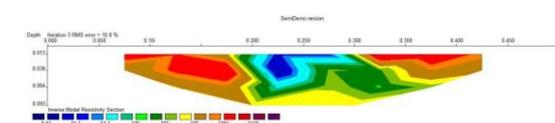
Pada gambar tersebut diperoleh model lapisan bawah permukaan dengan kedalaman 9,3 cm dengan panjang bentang 50 cm.



Gambar 9 Penampang Resistivitas 2D Lapisan Bawah Permukaan *Model Test* Vertikal untuk Kadar Air Tanah Lempung 22%



Gambar 10 Penampang Resistivitas 2D Lapisan Bawah Permukaan *Model Test* Vertikal untuk Kadar Air Tanah Lempung 27%



Gambar 11 Penampang Resistivitas 2D Lapisan Bawah Permukaan *Model Test* Vertikal untuk Kadar Air Tanah Lempung 32%

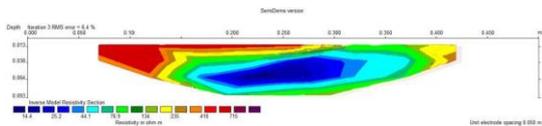
Nilai *RMS error* pada iterasi ke 3 untuk masing-masing kadar air adalah sebesar 7,1% untuk kadar air 22%; 11,4% untuk kadar air 27%; dan 10,8% untuk kadar air 32% dengan rentang nilai resistivitas antara 8,91 - 4318 Ωm . Dari hasil model inversi resistivitas ini dapat diperkirakan bahwa lapisan bawah permukaan *model test* merupakan lapisan lempung dan pasir jika mengacu pada nilai resistivitas pada **Tabel 1**.

Dari gambar tersebut juga bisa dilihat adanya lapisan-lapisan yang mempunyai gradasi warna yang berbeda secara vertikal. Serta terjadi perubahan

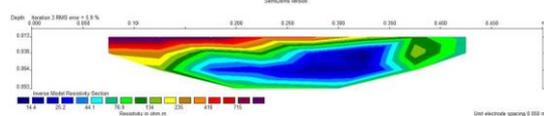
warna yang semakin gelap seiring bertambahnya kadar air.

Hasil Inversi 2 Dimensi dan Interpretasi Model Test pada Lapisan Diagonal

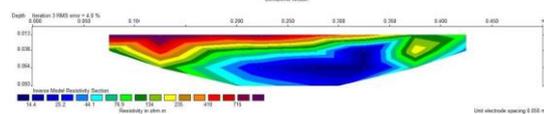
Pada gambar tersebut diperoleh model lapisan bawah permukaan dengan kedalaman 9,3 cm dengan panjang bentang 50 cm.



Gambar 12 Penampang Resistivitas 2D Lapisan Bawah Permukaan *Model Test* Diagonal untuk Kadar Air Tanah Lempung 22%



Gambar 13 Penampang Resistivitas 2D Lapisan Bawah Permukaan *Model Test* Diagonal untuk Kadar Air Tanah Lempung 27%



Gambar 14 Penampang Resistivitas 2D Lapisan Bawah Permukaan *Model Test* Diagonal untuk Kadar Air Tanah Lempung 32%

Nilai *RMS error* pada iterasi ke 3 untuk masing-masing kadar air adalah sebesar 6,4% untuk kadar air 22%; 5,9% untuk kadar air 27%; dan 4% untuk kadar air 32% dengan rentang nilai resistivitas antara 14,4 - 715 Ωm . Dari hasil model inversi resistivitas ini dapat diperkirakan bahwa lapisan bawah permukaan *model test* merupakan lapisan lempung dan pasir jika mengacu pada nilai resistivitas pada **Tabel 1**.

Dari gambar tersebut juga bisa dilihat adanya lapisan-lapisan yang

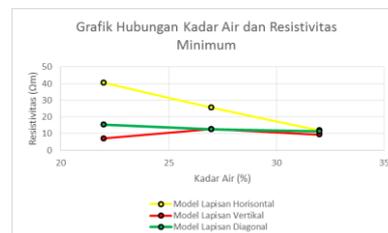
mempunyai gradasi warna yang berbeda secara diagonal. Serta terjadi perubahan warna yang semakin gelap seiring bertambahnya kadar air.

Hubungan Variasi Kadar Air terhadap Nilai Resistivitas

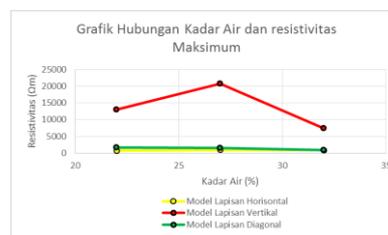
Hubungan antara variasi kadar air dengan nilai resistivitas baik yang maksimum maupun minimum ditunjukkan pada tabel dan grafik di bawah ini:

Tabel 13 Variasi Kadar Air dan Nilai Resistivitas

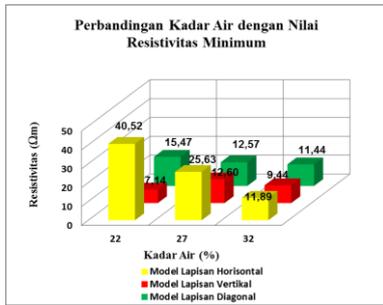
Model Lapisan Horizontal			
Kadar air tanah lempung (%)	22	27	32
Resistivitas minimum (Ωm)	40,52	25,63	11,89
resistivitas maximum (Ωm)	913,30	882,21	717,29
Model Lapisan Vertikal			
Kadar air tanah lempung (%)	22	27	32
Resistivitas minimum (Ωm)	7,14	12,60	9,44
resistivitas maximum (Ωm)	13026,85	20835,91	7351,79
Model Lapisan Diagonal			
Kadar air tanah lempung (%)	22	27	32
Resistivitas minimum (Ωm)	15,47	12,57	11,44
resistivitas maximum (Ωm)	1734,05	1436,06	906,51



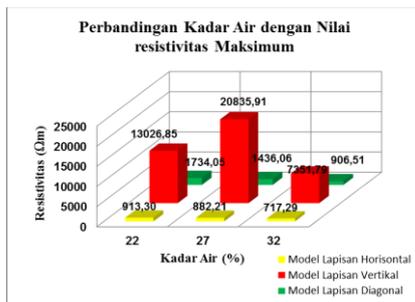
Gambar 15 Grafik Resistivitas Minimum dengan Kadar Air



Gambar 15 Grafik Resistivitas Maksimum dengan Kadar Air



Gambar 17 Grafik Perbandingan Kadar Air dengan Nilai Resistivitas Minimum



Gambar 18 Grafik Perbandingan Kadar Air dengan Nilai Resistivitas Maksimum

Hasilnya dapat dilihat bahwa nilai resistivitas minimum dan maksimum menurun seiring penambahan kadar air, kecuali untuk lapisan vertikal. Sebagai contoh, dapat dilihat pada model lapisan horisontal, nilai resistivitas minimumnya menurun dari 40,52 Ωm (kadar air 22%), 25,63 Ωm (kadar air 27%), 11,89 Ωm (kadar air 32%). Sedangkan nilai resistivitas maksimumnya menurun dari 913,3 Ωm (kadar air 22%), 882,21 Ωm (kadar air 27%), 717,29 Ωm (kadar air 32%).

KESIMPULAN DAN SARAN

Hal-hal yang dapat disimpulkan dari hasil dan pembahasan di atas adalah sebagai berikut:

1. Hasil penyelidikan geolistrik pada lebar 50 cm, diperoleh pembacaan elektrode sedalam 9,3 cm. Hasilnya ditunjukkan dengan variasi atau gradasi warna untuk berbagai jenis tanah yang ada dengan rentang nilai sesuai dengan jenis tanah tersebut. Pengolahannya dilakukan dengan bantuan *software Res2dinv*

dengan memasukkan data beda potensial dan arus.

2. Nilai resistivitas akan terpengaruh oleh jumlah kadar air. Semakin besar kadar air yang terkandung dalam tanah maka nilai resistivitasnya akan semakin menurun kecuali pada lapisan vertikal nilai resistivitasnya tidak konstan. Faktor yang mempengaruhi hal tersebut bisa karena pemadatan, penyebaran air dalam tanah yang kurang merata, jenis lapisan maupun konfigurasi yang dipakai.
3. Berdasarkan nilai resistivitas yang ditunjukkan pada gambar inversi 2 dimensi pada model percobaan, *ERT* mampu mendeteksi jenis tanah atau material bawah permukaan sesuai dengan jenis sampel tanah yang digunakan dalam penelitian tersebut, yaitu tanah pasir dan lempung. Namun hasil yang ditunjukkan belum tergambar dengan jelas, sehingga masih harus diteliti lebih lanjut. Pada tanah lempung ditunjukkan dengan warna gelap yang didominasi warna biru tua dengan nilai resistivitas paling kecil. Hal ini karena mineral yang terkandung dalam lempung mengandung ion negatif yang sangat mudah terikat jika berinteraksi dengan air. Sehingga akan mudah menghantarkan listrik.
4. *ERT* juga dapat mendeteksi bentuk lapisan seperti lapisan horisontal, lapisan vertikal dan lapisan diagonal. Namun masih belum terlalu nampak jelas, sehingga harus dikaji lebih lanjut dengan faktor-faktor yang lainnya.

Demi kesempurnaan penelitian yang lebih lanjut, saran yang bisa disampaikan adalah sebagai berikut:

1. Diperlukan penelitian lebih lanjut mengenai variasi kadar air dan jenis lapisan tanah terhadap nilai resistivitas dengan menggunakan konfigurasi yang lain seperti *dipole-dipole*, *wenner*, *wenner-schlumberger*, dan lain sebagainya.

2. Agar mendapatkan hasil inversi yang lebih dalam, maka perlu dibuat model dengan lebar yang lebih besar juga. Dalam penelitian ini misalnya, untuk mendapatkan hasil pada kedalaman 12 cm maka lebar yang harus dibuat yaitu lebih dari 50 cm.
3. Diperlukan penelitian lebih lanjut mengenai parameter tanah, jenis tanah yang digunakan maupun perlakuan lain terhadap sampel tanahnya.

DAFTAR PUSTAKA

- Ato'urrahman, Muhammad. 2014. Pengaruh Kepadatan Tanah Pasir Terhadap Nilai Resistivitas/Tahanan Jenis pada Model Fisik dengan Metode ERT (Electrical Resistivity Tomography). Malang: *Skripsi Program Sarjana Teknik Universitas Brawijaya*.
- Bowles, J.E. 1991. *Sifat-sifat Fisis dan Geoteknis Tanah*. Edisi Kedua, Jakarta : Penerbit Erlangga.
- Rolia, Eva. 2011. Penggunaan Metode Geolistrik untuk Mendeteksi Keberadaan Air tanah. *Jurnal Tapak Vol. 1 No. 1 November 2011. Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Metro*.
- Sheriff,dkk. 1976. *Applied Geophysics*. 2nd Edition. New York : Cambridge University Press.