

**PENGUNAAN GEOLISTRIK DENGAN VARIASI METODE  
DETEKSI LAPISAN TANAH DAN KEDALAMAN TIANG  
DALAM SKALA LABORATORIUM**

**NASKAH PUBLIKASI  
TEKNIK SIPIL**

Diajukan untuk memenuhi persyaratan memperoleh  
gelar Sarjana Teknik



**RETNO WIDI ASTUTI  
NIM. 125060101111006**

**UNIVERSITAS BRAWIJAYA  
FAKULTAS TEKNIK  
MALANG  
2016**

# PENGGUNAAN GEOLISTRIK DENGAN VARIASI METODE DETEKSI LAPISAN TANAH DAN KEDALAMAN TIANG DALAM SKALA LABORATORIUM

Retno Widi Astuti, Eko Andi Suryo, Suroso

Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Brawijaya  
Jalan Mayjend Haryono 167 Malang 65145 – Telp (0341) 567886  
Email: retnowidia48@gmail.com

## ABSTRAK

Terdapat beberapa metode penyelidikan tanah di lapangan. Salah satunya adalah metode geolistrik. Dengan menggunakan metode ini akan diperlukan waktu yang lebih singkat dan biaya yang lebih murah. Penelitian ini menggunakan tanah pasir dan tanah residual sebagai bahan penelitian. Tanah model dimasukkan dalam *box fiberglass* berukuran panjang 50 cm, lebar dan tinggi 15 cm. Namun model hanya dibuat dengan ukuran panjang 50 cm, lebar 15 cm, dan tinggi 12 cm. *Model test* yang dibuat antara lain 1 model horisontal, 1 model vertikal, dan 1 model tanah residual tanpa tiang kemudian dipasang 1 tiang di tengah. Masing masing model diuji dengan berbagai macam konfigurasi geolistrik antara lain konfigurasi *dipole – dipole*, *schlumberger*, dan *wenner*. Tujuan penelitian ini adalah mengetahui berbagai konfigurasi geolistrik dalam mendeteksi lapisan tanah dan kedalaman tiang. Dalam penelitian ini digunakan  $R_c = 90 \%$  sehingga diperoleh kadar air model 10,546 % untuk tanah pasir dan 26,56 % untuk tanah residual. Dari penelitian ini diperoleh hasil dengan berbagai macam konfigurasi geolistrik diperoleh nilai resistivitas yang berbeda pada lapisan tanah. Konfigurasi yang paling tepat digunakan pada lapisan tanah adalah konfigurasi *dipole – dipole* untuk lapisan horisontal dan konfigurasi *schlumberger* untuk lapisan vertikal. Pada penelitian deteksi kedalaman tiang, dengan konfigurasi yang digunakan menunjukkan bahwa geolistrik tidak dapat digunakan untuk mendeteksi kedalaman tiang. Hal ini ditunjukkan dengan peningkatan nilai resistivitas terjadi secara keseluruhan, tidak hanya pada daerah pengaruh pemancangan tiang. Sehingga diperlukan penelitian lebih lanjut tentang hal ini.

**Kata kunci:** geolistrik, resistivitas, lapisan tanah, kedalaman tiang

## ABSTRACT

There are any methods of soil investigation in the field. One of them is the geo-electric method. By using this method will have required faster time and lower cost. In this research, used sand and residual that put in box fiberglass with length 50 cm, width 15 and high 15 cm. But these models made with length 50 cm, width 15 cm and high 12 cm. Model tests were made, one model of horizontal, one model of vertical, and one model of residual soil without pile and then installed one pile in the middle. Each of model tested geo-electric with configuration of dipole - dipole, schlumberger and wenner. The purpose of this research to influence each of configuration geo-electric in detection of soil layer and pile depth. This research use  $R_c = 90 \%$  and water content used 10.546 % for sand soil and 26.56% for

residual soil. The results of this research show with variation of configuration geo-electric obtained resistivity values at different soil layer. Configuration is most appropriate for soil layer is dipole – dipole configuration for horizontal layer and schlumberger configuration for vertical layer. In research of pile depth prediction, with the configuration used show that the geo-electric can not be used to pile depth prediction. This is demonstrated by the increase in the value of resistivity occurs as a whole, not only in the influence area of pile erection. So, be reuired more research on this.

**Keyword:** geo-electric, resistivity, soil layer, pile depth

## PENDAHULUAN

Salah satu bagian struktur yang berada di bawah permukaan tanah adalah pondasi. Di era modern ini, banyak ditemukan bangunan kuno yang tidak diketahui kedalamannya. Sehingga diperlukan penyelidikan mengenai kedalaman pondasi yang belum diketahui kedalamannya. Selain itu, dalam pembuatan pondasi juga diperlukan penyelidikan tanah terlebih dahulu untuk mengetahui letak tanah keras dan kedalamannya.

Penyelidikan tanah bisa dilakukan di lapangan maupun di laboratorium. Untuk penyelidikan tanah di lapangan membutuhkan persiapan alat yang mahal dan waktu mobilisasi yang lama. Sedangkan, penyelidikan tanah di laboratorium memerlukan waktu yang lama. Sehingga diperlukan penyelidikan yang lebih cepat dan murah. Salah satu alternatifnya adalah metode geolistrik.

Sebelumnya, terdapat penelitian geolistrik yang berkaitan dengan deteksi lapisan tanah dengan konfigurasi *schlumberger* pernah dilakukan oleh Heni Dewi Saidah (2015) dan yang berkaitan dengan deteksi kedalaman tiang pernah dilakukan oleh Mohammad Sadik Khan (2011). Pada penelitian ini dilakukan penelitian pada deteksi lapisan tanah dan kedalaman tiang dengan berbagai macam konfigurasi geolistrik.

## TINJAUAN PUSTAKA

### Metode Geolistrik

Geolistrik merupakan metode yang menginjeksikan arus listrik melalui dua buah elektroda arus dan mengukur beda potensialnya melalui dua elektrode potensial. Rumus yang digunakan dalam pengolahan data metode geolistrik adalah:

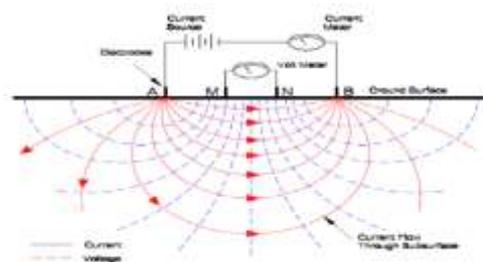
$$\rho = k \Delta V / I$$

I = arus dalam Ampere

$\Delta V$  = beda potensial dalam volt

$\rho$  = tahanan jenis dalam Ohm meter

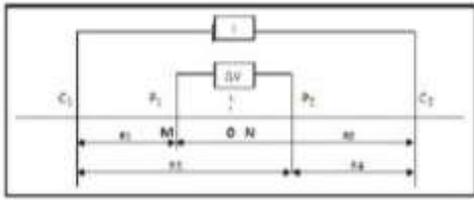
k = faktor geometri elektroda dalam meter



**Gambar 1** Siklus elektrik determinasi resistivitas dan lapangan elektrik untuk stratum homogenous permukaan bawah tanah

### Konfigurasi *Schlumberger*

Prinsip utama pada geolistrik konfigurasi *schlumberger* adalah dengan mengubah jarak elektroda arus tetapi tidak dengan elektroda potensial.

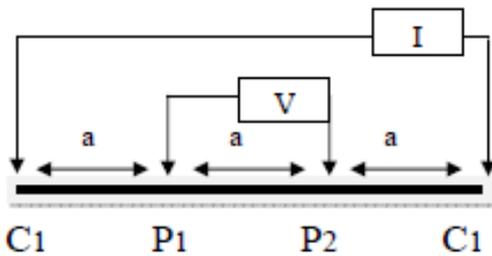


**Gambar 2** Rangkaian elektroda konfigurasi *schlumberger*

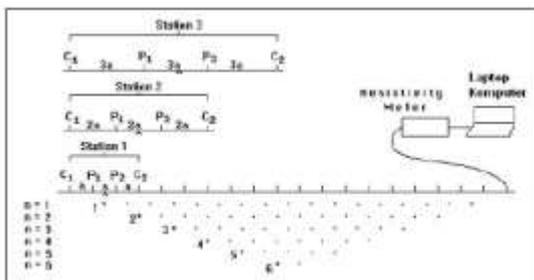
$$k = \pi \frac{AB^2 - MN^2}{4MN}$$

**Konfigurasi Wenner**

Konfigurasi *wenner* adalah konfigurasi geolistrik yang memiliki susunan jarak yang sama antar elektrodanya.



**Gambar 3** Susunan elektroda konfigurasi *wenner*

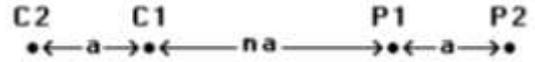


**Gambar 4** Skema pengukuran resistivity dengan konfigurasi *wenner*

$$k = 2\pi a$$

**Konfigurasi Dipole – Dipole**

Konfigurasi *dipole – dipole* adalah konfigurasi geolistrik yang memiliki jarak *a* antara kedua elektroda arusnya dan antara kedua elektroda potensialnya. Sedangkan jarak antara elektroda arus dan elektroda potensial terpisah adalah *na* dan *n* adalah bilangan bulat.



**Gambar 5** Konfigurasi *dipole - dipole*

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

**Resistivitas Mineral dan Batuan**

**Tabel 1** Nilai Resistivitas Berbagai Jenis Tanah dan Batuan di Bumi (Roy, 1984)

Jenis tanah atau batuan	Resistivitas (Ohm)
Tanah liatungan, basah-lembek	1,5 - 3,0
Lempung liatung dan tanah liatung basah-lembek	3 - 15
Tanah liatung, pasir	15 - 150
Batuan dasar bekatir/batu tanah lembek	150 - 300
Pasir krikil bercampur liatung	> 300
Pasir krikil terdapat liatung liatung	300 - 2400
Batuan dasar bekatir berisi tanah liatung	300 - 2400
Terdapat pasir dan kerikil bekatir kasar dan liatung	2400
Batuan dasar tik liatung	2400
Air tawar	20 - 40
Air laut	0,18 - 0,24

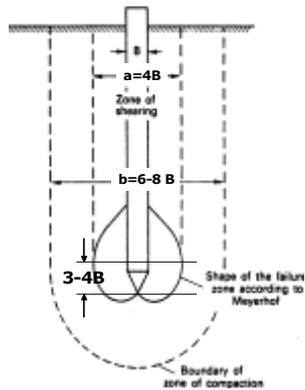
**Tabel 2** Nilai Resistivitas Maksimum dan Minimum dengan Variasi Kepadatan Tanah Pasir (Muhammad Ato'urrohman, 2014)

Perubahan 1 (Kadar air (wc) rencana = 5%, Kepadatan relatif (Rr) rencana = 65%, 75%, 85%)				
Parameter Model Test	Satuan	Model test 1	Model test 2	Model test 3
γd rata - rata	gram/cm <sup>3</sup>	1,385	1,533	1,616
Resistivitas minimum	Ohm	571	326	163
Resistivitas maksimum	Ohm	2274	2612	2703
Perubahan 2 (Kadar air (wc) rencana = 10%, Kepadatan relatif (Rr) rencana = 65%, 75%, 85%)				
Parameter Model Test	Satuan	Model test 1	Model test 2	Model test 3
γd rata - rata	gram/cm <sup>3</sup>	1,326	1,512	1,622
Resistivitas minimum	Ohm	197	167	152
Resistivitas maksimum	Ohm	1104	1166	1202
Perubahan 3 (Kadar air (wc) rencana = 15%, Kepadatan relatif (Rr) rencana = 65%, 75%, 85%)				
Parameter Model Test	Satuan	Model test 1	Model test 2	Model test 3
γd rata - rata	gram/cm <sup>3</sup>	1,406	1,598	1,680
Resistivitas minimum	Ohm	130	91	65
Resistivitas maksimum	Ohm	604	536	538

**Pondasi Tiang**

Pondasi tiang merupakan pondasi untuk struktur atau bangunan yang memiliki letak tanah keras yang sangat dalam. Pondasi ini dapat dibuat dari beberapa material, seperti kayu, beton, baja, dan komposit (gabungan). Tiang komposit dapat berupa gabungan dari kayu dan beton atau baja dan beton.

## Pengaruh Pemancangan Tiang



**Gambar 6** Daerah pengaruh pemancangan tiang

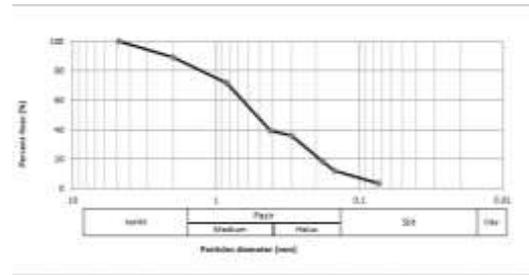
## METODE

Bahan dasar model test dalam penelitian ini adalah tanah pasir dan tanah residual yang lolos ayakan no. 4. Model test dibuat dalam *box* berukuran panjang 50 cm serta lebar dan tinggi 15 cm. Namun model dibuat dengan panjang 50 cm, lebar 15 cm, dan tinggi 12 cm. Total model yang dibuat adalah 3 *model test*. Model 1 dibuat lapisan horisontal. Model 2 dibuat lapisan vertikal. Model 3 dibuat tanah residual tanpa tiang kemudian dipasang 1 tiang di tengah. Ketiga model masing – masing diuji berbagai macam konfigurasi geolistrik. Dalam penelitian ini model hanya diuji dengan konfigurasi *dipole – dipole*, *schlumberger*, serta *wenner*. Dengan menggunakan konfigurasi *dipole – dipole* diperoleh 91 titik datum. Dengan menggunakan konfigurasi *schlumberger* diperoleh 49 titik datum. Dengan menggunakan *wenner* diperoleh 35 titik datum. Data geolistrik diolah menggunakan *Microsoft Excel*, *Notepad*, serta *Res2dinv*.

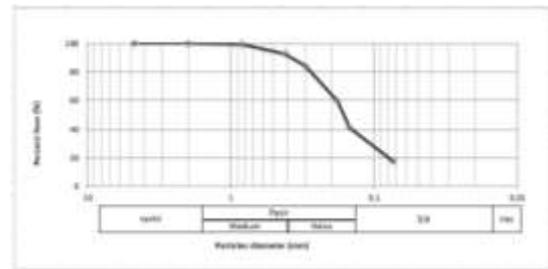
Pengujian dasar yang dilakukan pada tanah sebelum pembuatan model dan uji geolistrik antara lain adalah analisis saringan, berat jenis tanah, kepadatan standar, dan kadar air tanah.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Analisis Gradasi Butiran Tanah



**Gambar 7** Pembagian butiran tanah pasir



**Gambar 8** Pembagian butiran tanah residual

### Analisis *Specific Gravity*

Hasil analisis *specific gravity* ditunjukkan pada tabel berikut:

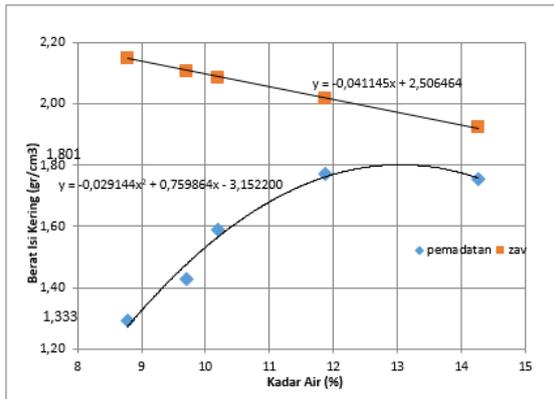
**Tabel 3** Nilai Rata – Rata *Specific Gravity* Tanah Pasir

Labu Ukur	1	2	3
<i>Specific Gravity</i>	2,615	2,65	2,68
<i>Specific Gravity rata-rata</i>	2,648		

**Tabel 4** Nilai Rata – Rata *Specific Gravity* Tanah Residual

Labu Ukur	1	2	3
<i>Specific Gravity</i>	2,539	2,528	2,539
<i>Specific Gravity rata-rata</i>	2,535		

## Analisis Pemeriksaan Kepadatan Tanah



**Gambar 9** Grafik pematatan standar tanah pasir



**Gbr 10** Grafik pematatan standar tanah residual

Pada penelitian ini digunakan kepadatan relatif  $R_c = 90\%$ .

**Tabel 5** Hasil Uji Pematatan Standar di Laboratorium dan Kepadatan Tanah Model dengan  $R_c = 90\%$

Jenis Tanah	Pematatan Standar		Kepadatan Model ( $R_c = 90\%$ )	
	Kadar Air Optimum (OMC) (%)	Berat Isi Kering Model ( $\gamma_{dmodel}$ ) ( $gr/cm^3$ )	Kadar Air Model (%)	Berat Isi Kering Model ( $\gamma_{dmodel}$ ) ( $gr/cm^3$ )
Pasir	13	1,801	10,546	1,62
Residual	19,72	1,175	26,56	1,057

## Hasil Pemeriksaan Kadar Air dan Pematatan pada Model Test

**Tabel 6** Hasil Pemeriksaan  $w_c$ ,  $\gamma_d$ , dan  $R_c$  pada Lapisan Horizontal

Parameter Model Test	Satuan	Lapisan Tanah 1 (Pasir)	Lapisan Tanah 2 (Residual)	Lapisan Tanah 3 (Pasir)
Kadar air ( $w_c$ )	%	7,74	26,08	9,79
$\gamma_d$ rata-rata	gram/cm <sup>3</sup>	1,523	0,855	1,6
Kepadatan Relatif ( $R_c$ )	%	85	73	89

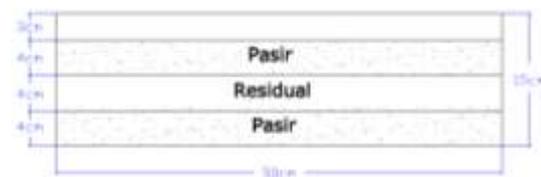
**Tabel 7** Hasil Pemeriksaan  $w_c$ ,  $\gamma_d$ , dan  $R_c$  pada Lapisan Vertikal

Parameter Model Test	Satuan	Lapisan Tanah 1 (Pasir)	Lapisan Tanah 2 (Residual)	Lapisan Tanah 3 (Pasir)
Kadar air ( $w_c$ )	%	7,87	40,69	6,76
$\gamma_d$ rata-rata	gram/cm <sup>3</sup>	1,544	1,127	1,565
Kepadatan Relatif ( $R_c$ )	%	86	96	87

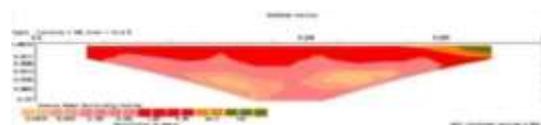
**Tabel 8** Pemeriksaan  $w_c$ ,  $\gamma_d$ , dan  $R_c$  pada Pemodelan Kedalaman 1 Tiang

Parameter Model Test	Satuan	Lapisan Tanah Residual	
		Bagian Sekitar Tiang	Bagian Tepi
Kadar air ( $w_c$ )	%	24,55	26,71
$\gamma_d$ rata-rata	gram/cm <sup>3</sup>	0,935	0,928
Kepadatan Relatif ( $R_c$ )	%	88	88

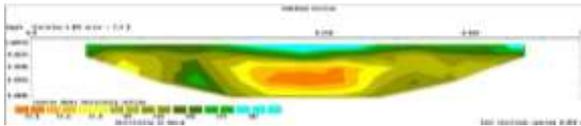
## Hasil Inversi 2 Dimensi dan Interpretasi Model Test pada Lapisan Horizontal



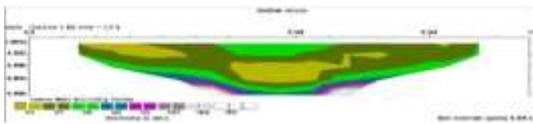
**Gambar 11** Tampak depan lapisan horizontal



**Gambar 12** Penampang resistivitas 2D lapisan bawah permukaan model test horizontal konfigurasi *dipole-dipole*



**Gambar 13** Penampang resistivitas 2D lapisan bawah permukaan model test horisontal konfigurasi *schlumberger*



**Gambar 14** Penampang Resistivitas 2D lapisan bawah permukaan model test horisontal konfigurasi *wenner*

Nilai RMS error pada iterasi ke 3 untuk masing – masing konfigurasi adalah sebesar 43 % untuk konfigurasi *dipole – dipole*, 2,5 % untuk konfigurasi *schlumberger*, dan 2,8 % untuk konfigurasi *wenner*.

**Tabel 9** Nilai Resistivitas dan Jenis Tanah Lapisan Horizontal Konfigurasi *Dipole – Dipole*

Lapisan	Kedalaman (m)	Resistivitas ( $\Omega m$ )	Jenis Tanah
1	0 – 4,08	0,104 – 146	Pasiran
2	4,08 – 8,8	0,00575 – 0,104	-
3	8,8 – 10,7	0,104	Pasiran

**Tabel 10** Nilai Resitivitas dan Jenis Tanah Lapisan Horizontal Konfigurasi Schlumberger

Lapisan	Kedalaman (m)	Resistivitas ( $\Omega m$ )	Jenis Tanah
1	0 – 2,3	140 – 382	Pasir (SP)
2	2,3 – 8,8	37-140	Tanah liatunus, pasirun

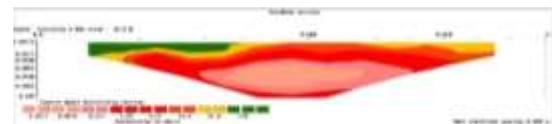
Konfigurasi *wenner* tidak perlu ditabelkan karena cukup sulit menentukan lapisan tanah horisontal

Berdasarkan ketiga konfigurasi tersebut dapat disimpulkan bahwa konfigurasi yang paling tepat menunjukkan adanya perbedaan jenis tanah secara horisontal adalah konfigurasi *dipole – dipole*. Karena dengan menggunakan konfigurasi *dipole – dipole* terlihat perbedaan nilai resistivitas pada lapisan tanah mendekati model penelitian yang dibuat serta dapat menunjukkan hasil nilai resistivitas dan jenis tanah sesuai model yang dibuat.

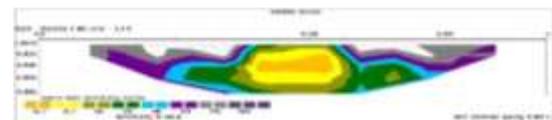
## Hasil Inversi 2 Dimensi dan Interpretasi Model Test pada Lapisan Vertikal



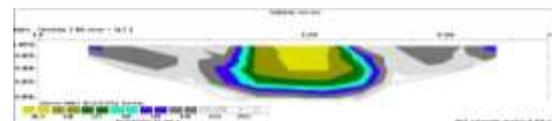
**Gambar 15** Tampak depan lapisan vertikal



**Gambar 16** Penampang resistivitas 2D lapisan bawah permukaan model test konfigurasi *dipole – dipole*



**Gbr 17** Penampang resistivitas 2D lapisan bawah permukaan model test konfigurasi *schlumberger*



**Gambar 18** Penampang resistivitas 2D lapisan bawah permukaan model test konfigurasi *wenner*

Nilai RMS error pada iterasi ke 3 untuk masing – masing konfigurasi adalah sebesar 39,3 % untuk konfigurasi *dipole – dipole*, 3,8 % untuk konfigurasi *schlumberger*, dan 10,5 % untuk konfigurasi *wenner*.

**Tabel 11** Nilai Resistivitas dan Jenis Tanah Lapisan Vertikal Konfigurasi *Dipole - Dipole*

Lapisan	Panjang Lintasan (m)	Resistivitas ( $\Omega m$ )	Jenis Tanah
1	4,5 – 16	0,351 – 319	Pasiran
2	16 – 29	0,0271 – 0,351	-
3	29 – 40,5	0,351 – 36	Pasiran

**Tabel 12** Nilai Resistivitas dan Jenis Tanah Lapisan Vertikal Konfigurasi *Schlumberger*

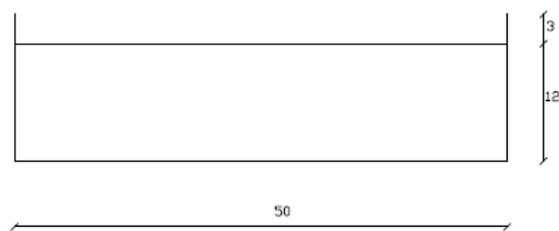
Lapisan	Pejang Lapisan (m)	Resistivitas ( $\Omega m$ )	Jenis Tanah
1	4,5 – 18	136 – 2019	Pasir (SP)
2	18 – 27	43,7 – 136	Tanah lempung, pasir
3	27 – 40,5	136 – 2019	Pasir (SP)

**Tabel 13** Nilai Resistivitas dan Jenis Tanah Lapisan Vertikal Konfigurasi *Wenner*

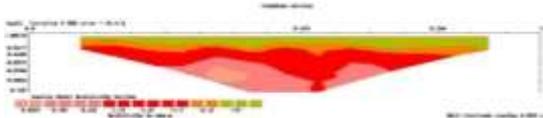
Lapisan	Pejang Lapisan (m)	Resistivitas ( $\Omega m$ )	Jenis Tanah
1	4,5 – 18	269 – 1373	Pasir (SP)
2	18 – 27	86,5 – 269	Tanah lempung, pasir
3	27 – 40,5	269 – 1373	Pasir (SP)

Dari ketiga konfigurasi tersebut dapat disimpulkan bahwa konfigurasi yang paling tepat menunjukkan adanya perbedaan lapisan tanah secara vertikal adalah konfigurasi *schlumberger*. Karena dengan menggunakan konfigurasi *schlumberger* terlihat adanya perbedaan nilai resistivitas pada lapisan tanah yang berbeda mendekati model yang dibuat. Selain pada konfigurasi *schlumberger* menunjukkan hasil pada lapisan vertikal terlihat adanya rembesan air dari tanah pasir menuju tanah residual. Hal ini sesuai dengan keadaan pada saat penelitian berlangsung.

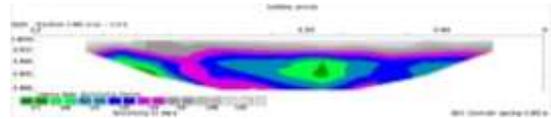
**Hasil Inversi 2 Dimensi dan Interpretasi Model Test Tanah Residual Tanpa Tiang**



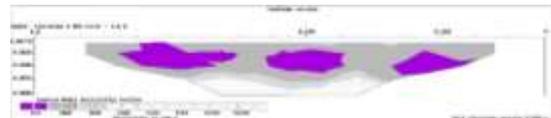
**Gambar 19** Tampak depan *model test* tanah residual tanpa tiang



**Gambar 20** Penampang resistivitas 2D lapisan bawah permukaan *model test* tanah residual tanpa tiang konfigurasi *dipole – dipole*



**Gambar 21** Penampang resistivitas 2D lapisan bawah permukaan *model test* tanah residual tanpa tiang konfigurasi *schlumberger*

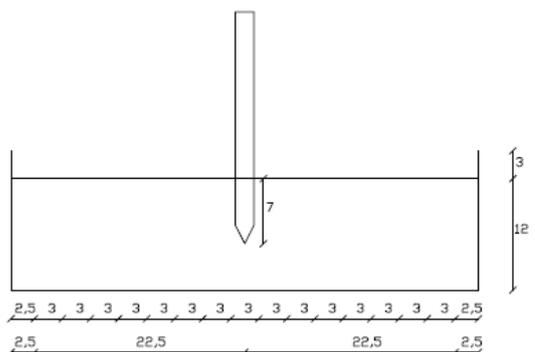


**Gambar 22** Penampang resistivitas 2D lapisan bawah permukaan *model test* tanah residual tanpa tiang konfigurasi *wenner*

Nilai RMS error pada iterasi ke 3 untuk masing – masing konfigurasi adalah 24,4 % untuk konfigurasi *dipole – dipole*, 2,3 % untuk konfigurasi *schlumberger*, dan 4,8 % untuk konfigurasi *wenner*.

Dari ketiga konfigurasi yang digunakan menunjukkan tidak adanya perbedaan warna yang cukup signifikan yang menunjukkan bahwa tanah tersebut terdiri dari satu lapisan tanah.

**Hasil Inversi 2 Dimensi dan Interpretasi Model Test Kedalaman 1 Tiang**



**Gambar 23** Tampak depan pemodelan kedalaman 1 tiang



Dari hasil diketahui nilai resistivitas cenderung meningkat setelah dipasang tiang kecuali pada konfigurasi wenner yang nilai resistivitas minimumnya cenderung menurun setelah dipasang tiang. Namun, peningkatan nilai resistivitas terjadi secara keseluruhan, tidak hanya terjadi pada daerah pengaruh pemancangan tiang. Oleh karena itu dapat disimpulkan bahwa geolistrik tidak dapat digunakan untuk mendeteksi kedalaman tiang. Sehingga perlu dilakukan penelitian lebih lanjut mengenai hal ini.

## KESIMPULAN DAN SARAN

### Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang dilakukan dengan berbagai konfigurasi geolistrik diperoleh panjang lintasan 45 cm dengan nilai resistivitas pada kedalaman 10,7 cm untuk konfigurasi *dipole – dipole* dan 8,06 cm untuk konfigurasi *schlumberger* dan wenner. Dari penelitian yang dilakukan dapat disimpulkan bahwa:

1. Konfigurasi yang paling tepat digunakan pada lapisan tanah adalah konfigurasi *dipole – dipole* untuk lapisan horisontal dan konfigurasi *schlumberger* untuk lapisan vertikal. Hal ini ditunjukkan dengan nilai resistivitas yang diperoleh dengan konfigurasi tersebut mendekati nilai resistivitas tanah yang dibuat pada *model test*.
2. Dengan konfigurasi yang digunakan menunjukkan bahwa geolistrik tidak dapat digunakan untuk mendeteksi kedalaman tiang. Hal ini ditunjukkan dengan peningkatan nilai resistivitas terjadi secara keseluruhan, tidak hanya terjadi pada daerah pengaruh pemancangan tiang. Sehingga diperlukan penelitian lebih lanjut tentang hal ini.

### Saran

Setelah melakukan penelitian ini, ada beberapa hal yang harus diperhatikan untuk penyempurnaan penelitian yang

lebih lanjut. Hal – hal tersebut sebagai berikut:

1. Diperlukan model dengan lebar yang lebih besar agar diperoleh hasil inversi yang lebih dalam. Apabila memungkinkan penelitian dapat dilakukan di lapangan agar dapat mendeteksi lapisan tanah dan kedalaman tiang dengan menggunakan konfigurasi geolistrik yang lainnya. Karena dalam skala laboratorium dengan ukuran model yang telah dibuat hanya dapat dideteksi dengan konfigurasi *dipole – dipole*, *schlumberger*, dan *wenner*.
2. Dalam penelitian ini menggunakan geolistrik metode *mapping*, diperlukan penelitian lebih lanjut tentang penggunaan geolistrik metode *sounding*.
3. Dalam penelitian deteksi kedalaman tiang diperoleh peningkatan nilai resistivitas secara keseluruhan, sehingga diperlukan penelitian lebih lanjut tentang hal ini. Dalam penelitian selanjutnya dapat digunakan *box* yang lebih besar dan kedalaman tiang yang lebih dalam. Jika memungkinkan dapat dilakukan pada pondasi suatu struktur yang sesungguhnya.

## DAFTAR PUSTAKA

- Ato'urrohman, Muhammad. 2014. Pengaruh Kepadatan Tanah Pasir Terhadap Nilai Resistivitas/Tahanan Jenis pada Model Fisik dengan Metode ERT (Electrical Resistivity Tomography). *Skripsi*. Tidak dipublikasikan. Malang: Universitas Brawijaya.
- Das, Braja M. 1985. *Principles of Geoteknik Engineering*. Boston: PWS Publisher.
- Loke, M.H. 2004. *Tutorial : 2-D and 3-D electrical imaging surveys*. <https://www.ualberta.ca/~unsworth/>

UAclasses/223/loke\_course\_notes.pdf  
f. (diakses 13 Januari 2016).

Roy, E. 1984. *Geotechnical Engineering Investigation Manual*. New York: McGraw Hill.

Saidah, Heni Dewi. 2015. Pengaruh Kadar Air Tanah Lempung Terhadap Nilai Resistivitas/Tahanan Jenis pada Model Fisik dengan Metode ERT (Electrical Resistivity Tomography). *Skripsi*. Tidak dipublikasikan. Malang: Universitas Brawijaya.