

## PENGGUNAAN METODE RESISTIVITY DALAM PEMANTAUAN TANAH URUGAN

Oleh: Wahyu Budi Kusuma

### Abstrak

*Metode Geofisika merupakan ilmu yang mempelajari tentang bumi dengan menggunakan pengukuran fisik pada permukaan atau bawah permukaan bumi. Metode resistivity merupakan salah satu metode geofisika yang mempelajari sifat aliran listrik di dalam bumi dan bagaimana cara mendeteksinya di permukaan bumi.*

*Metode resistivity kali ini digunakan untuk memantau kondisi tanah urugan. Lokasi yang dipilih adalah tanggul lumpur sidoarjo (LUSI) untuk mengetahui kondisi kejenuhan air di dalam tanggul berdasarkan nilai tahanan jenisnya dan membuat model penampang dua dimensi dari nilai tahanan jenis tanah. Metode resistivity memudahkan proses monitoring. Kelebihan dari metode ini adalah dapat dilakukan dengan cepat dan relatif murah.*

*Dari hasil evaluasi dapat diketahui bahwa timbunan tanggul di lokasi pengukuran memiliki zona jenuh air pada kedalaman 7 hingga 11 m (sekitar 4 m), kondisi ini harus diwaspadai sebagai zona lemah tanggul.*

*Kata kunci: geofisika, resistivity, tanah urugan*

### I. PENDAHULUAN

#### 1.1. Latar Belakang

Metode Geofisika merupakan ilmu yang mempelajari tentang bumi dengan menggunakan pengukuran fisik pada permukaan atau bawah permukaan bumi. Metode resistivity merupakan salah satu metode geofisika yang mempelajari sifat aliran listrik di dalam bumi dan bagaimana cara mendeteksinya di permukaan bumi. Dalam hal ini meliputi pengukuran potensial dan arus listrik yang terjadi, baik secara alamiah maupun akibat injeksi arus di dalam bumi. Ada beberapa macam aturan/konfigurasi pendugaan lapisan bawah permukaan tanah dengan metode resistivity ini, antara lain : Wenner, Schlumberger, dipole-dipole dan lain sebagainya. Prosedur pengukuran untuk masing-masing konfigurasi bergantung pada variasi resistivitas terhadap kedalaman yaitu pada arah

vertical (*sounding*) atau arah lateral (*mapping*).

Metode resistivity adalah salah satu metode yang cukup banyak digunakan dalam dunia eksplorasi khususnya eksplorasi air tanah karena resistivitas dari batuan sangat sensitif terhadap kandungan airnya dimana bumi dianggap sebagai sebuah resistor. Disamping untuk kegiatan eksplorasi, metode resistivity juga dapat digunakan untuk mengenali kondisi material bawah permukaan.

Tanggul atau tanah urugan merupakan struktur yang dibangun untuk kepentingan tertentu. Kondisi tanah urugan perlu dipantau agar dapat ditangani jika mengalami penurunan stabilitas. Tanggul lumpur Sidoarjo (LUSI) dibangun untuk membendung aliran lumpur yang muncul di permukaan. Beberapa kali tanggul LUSI mengalami kerusakan sehingga membahayakan warga disekitarnya.

Metode resistivity kali ini digunakan untuk memantau kondisi tanggul LUSI, mengetahui kondisi kejenuhan air di dalam tanggul berdasarkan nilai tahanan jenisnya dan membuat model penampang dua dimensi dari nilai tahanan jenis tanah.

## 1.2. Ruang Lingkup

Kondisi tanggul LUSI perlu dipantau secara terus menerus. Informasi, khususnya kondisi bawah permukaan tanggul LUSI sangat diperlukan untuk menghindari potensi bencana jebolnya tanggul. Pemantauan kondisi bawah permukaan tanggul LUSI dilakukan dengan menggunakan metode resistivity.

## II. TINJAUAN PUSTAKA

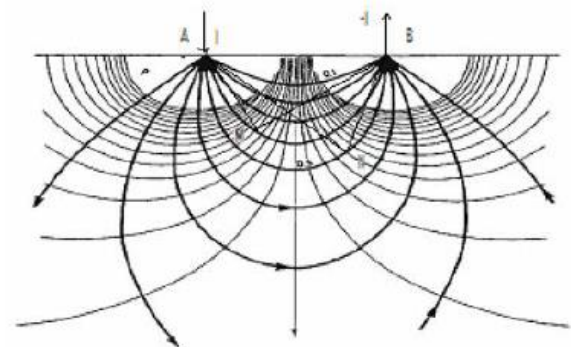
### 2.1. Teori Dasar Resistivity

Metode resistivity adalah salah satu metode geofisika yang bertujuan mempelajari sifat fisis batuan atau objek yang terdapat di bawah permukaan. Metode ini bertujuan menggambarkan distribusi nilai resistivity di bawah permukaan bumi dari hasil pengukuran yang dilakukan di permukaan (Loke, 1999). Dari pengukuran tersebut diperoleh parameter fisis berupa nilai resistivity. Nilai resistivity berhubungan dengan parameter geologi seperti mineral, kandungan fluida, dan porositas.

Metode resistivity dilakukan dengan cara menginjeksikan arus listrik ke permukaan bumi yang kemudian diukur beda potensial antara dua buah elektrode potensial. Pada keadaan tertentu, pengukuran bawah permukaan dengan arus yang tetap akan diperoleh suatu variasi beda tegangan yang berakibat akan terdapat variasi resistansi yang akan membawa suatu informasi tentang struktur dan material yang dilewatinya. Pengujian resistivity dilakukan atas dasar sifat fisika batuan terhadap arus listrik,

dimana setiap jenis batuan yang berbeda akan mempunyai harga tahanan jenis yang berbeda pula. Hal ini tergantung pada beberapa faktor, diantaranya umur batuan, kandungan elektrolit, kepadatan batuan, jumlah mineral yang dikandungnya, porositas, permeabilitas dan lain sebagainya.

Berdasarkan hal tersebut di atas, apabila arus listrik searah (Direct Current) dialirkan ke dalam tanah melalui 2 (dua) elektroda arus A dan B, maka akan timbul beda potensial antara kedua elektroda arus tersebut. Beda potensial ini kemudian diukur oleh pesawat penerima (receiver) dalam satuan milivolt. Ilustrasi garis ekipotensial yang terjadi akibat injeksi arus ditunjukkan pada dua titik arus yang berlawanan di permukaan bumi dapat dilihat pada gambar 1.



Gambar 1. Garis ekipotensial beserta pola arusnya

Apabila arus listrik searah (Direct Current) dialirkan ke dalam tanah melalui 2 (dua) elektroda arus A dan B, maka akan timbul beda potensial antara kedua elektroda arus tersebut (M & N). Beda potensial ini kemudian diukur oleh pesawat penerima (receiver) dalam satuan milivolt sehingga rumusnya adalah sebagai berikut :

$$\Delta V = V_M - V_N \quad (1)$$

$$\Delta V = \frac{I\rho}{2\pi} \left[ \left( \frac{1}{AM} - \frac{1}{BM} \right) - \left( \frac{1}{AN} - \frac{1}{BN} \right) \right] \quad (2)$$

$$\rho = 2\pi \left[ \left( \frac{1}{AM} - \frac{1}{BM} \right) - \left( \frac{1}{AN} - \frac{1}{BN} \right) \right]^{-1} \quad (3)$$

sehingga

$$\rho_a = k 2\pi \frac{\Delta V}{I} \quad (4)$$

dimana

$$k = 2\pi \left[ \left( \frac{1}{AM} - \frac{1}{BM} \right) - \left( \frac{1}{AN} - \frac{1}{BN} \right) \right]^{-1} \quad (5)$$

Cara pengukuran bisa dilakukan dengan cara satu dimensi (*Vertical Electrical Sounding*) dan dua dimensi (*lateral mapping*).

Pengukuran resistivity satu dimensi (*Vertical Electrical Sounding*) bertujuan untuk mengetahui variasi nilai resistivity secara vertikal yang dilakukan dengan jalan mengubah jarak elektrode secara sembarang tetapi mulai dari jarak elektrode kecil kemudian membesar secara gradual pada suatu titik sounding. Jarak antar elektrode ini sebanding dengan kedalaman lapisan batuan yang akan dideteksi. Makin besar jarak elektrode maka makin dalam lapisan batuan yang dapat diselidiki.

Pengukuran resistivitas dengan teknik dua dimensi (*lateral mapping*) merupakan metode resistivitas yang bertujuan untuk mempelajari variasi tahanan jenis lapisan bawah permukaan secara lateral. Pada teknik ini dipergunakan konfigurasi elektroda yang sama untuk semua titik pengamatan di permukaan bumi. Mengingat jarak antar elektroda untuk menentukan kedalaman investigasi maka pada teknik mapping pengukuran dilakukan dengan jarak elektroda tetap.

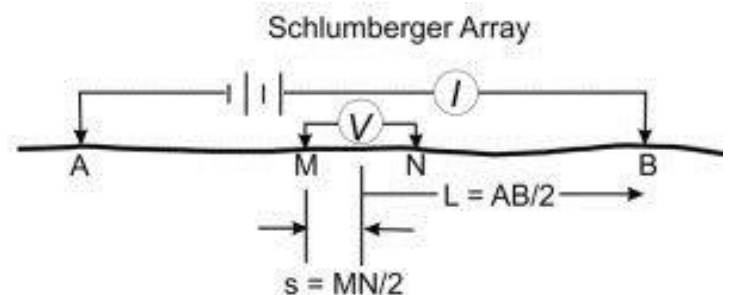
## 2.2. Konfigurasi Dalam Metode Resistivity

Berdasarkan letak (konfigurasi) elektroda potensial dan elektroda arus, dikenal beberapa jenis konfigurasi metode resistivitas tahanan jenis diantaranya yaitu :

1. Konfigurasi Schlumberger
2. Konfigurasi Wenner
3. Konfigurasi Dipole Dipole

### Konfigurasi Schlumberger

Pada konfigurasi Schlumberger idealnya jarak MN dibuat sekecil-kecilnya, sehingga jarak MN secara teoritis tidak berubah. Tetapi karena keterbatasan kepekaan alat ukur, maka ketika jarak AB sudah relatif besar maka jarak MN hendaknya dirubah. Perubahan jarak MN hendaknya tidak lebih besar dari 1/5 jarak AB.



Gambar 2. Konfigurasi Schlumberger

Kelemahan dari konfigurasi Schlumberger ini adalah pembacaan tegangan pada elektroda MN adalah lebih kecil terutama ketika jarak AB yang relatif jauh, sehingga diperlukan alat ukur multimeter yang mempunyai karakteristik 'high impedance' dengan akurasi tinggi yaitu yang bisa mendisplay tegangan minimal 4 digit atau 2 digit di belakang koma. Atau dengan cara lain diperlukan peralatan pengirim arus yang mempunyai tegangan listrik DC yang sangat tinggi.

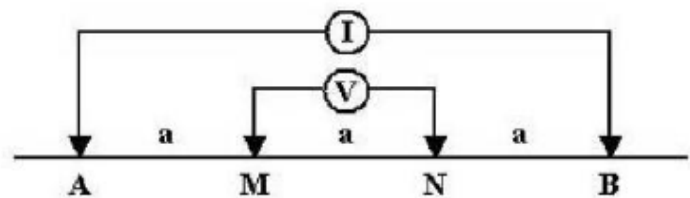
Sedangkan keunggulan konfigurasi Schlumberger ini adalah kemampuan untuk mendeteksi adanya non-homogenitas lapisan batuan pada permukaan, yaitu dengan membandingkan nilai resistivitas semu ketika terjadi perubahan jarak elektroda  $MN/2$ .

Agar pembacaan tegangan pada elektroda  $MN$  bisa dipercaya, maka ketika jarak  $AB$  relatif besar hendaknya jarak elektroda  $MN$  juga diperbesar. Pertimbangan perubahan jarak elektroda  $MN$  terhadap jarak elektroda  $AB$  yaitu ketika pembacaan tegangan listrik pada multimeter sudah demikian kecil, misalnya 1.0 milliVolt.

Umumnya perubahan jarak  $MN$  bisa dilakukan bila telah tercapai perbandingan antara jarak  $MN$  berbanding jarak  $AB = 1 : 20$ . Perbandingan yang lebih kecil misalnya 1 : 50 bisa dilakukan bila mempunyai alat utama pengirim arus yang mempunyai keluaran tegangan listrik DC sangat besar, katakanlah 1000 Volt atau lebih, sehingga beda tegangan yang terukur pada elektroda  $MN$  tidak lebih kecil dari 1.0 milliVolt.

#### Konfigurasi Wenner

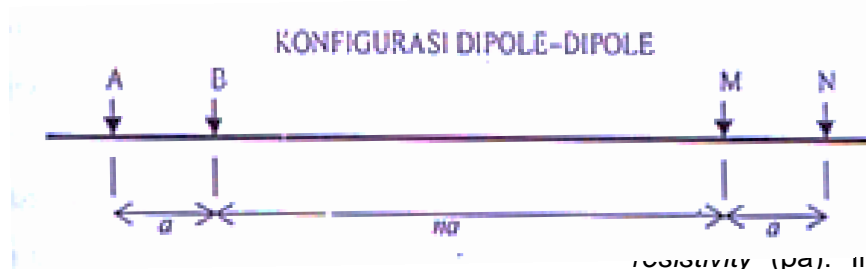
Keunggulan dari konfigurasi Wenner ini adalah ketelitian pembacaan tegangan pada elektroda  $MN$  lebih baik dengan angka yang relatif besar karena elektroda  $MN$  yang relatif dekat dengan elektroda  $AB$ . Disini bisa digunakan alat ukur multimeter dengan impedansi yang relatif lebih kecil. Sedangkan kelemahannya adalah tidak bisa mendeteksi homogenitas batuan di dekat permukaan yang bisa berpengaruh terhadap hasil perhitungan.



Gambar 3. Konfigurasi Wenner

#### Konfigurasi Dipole Dipole

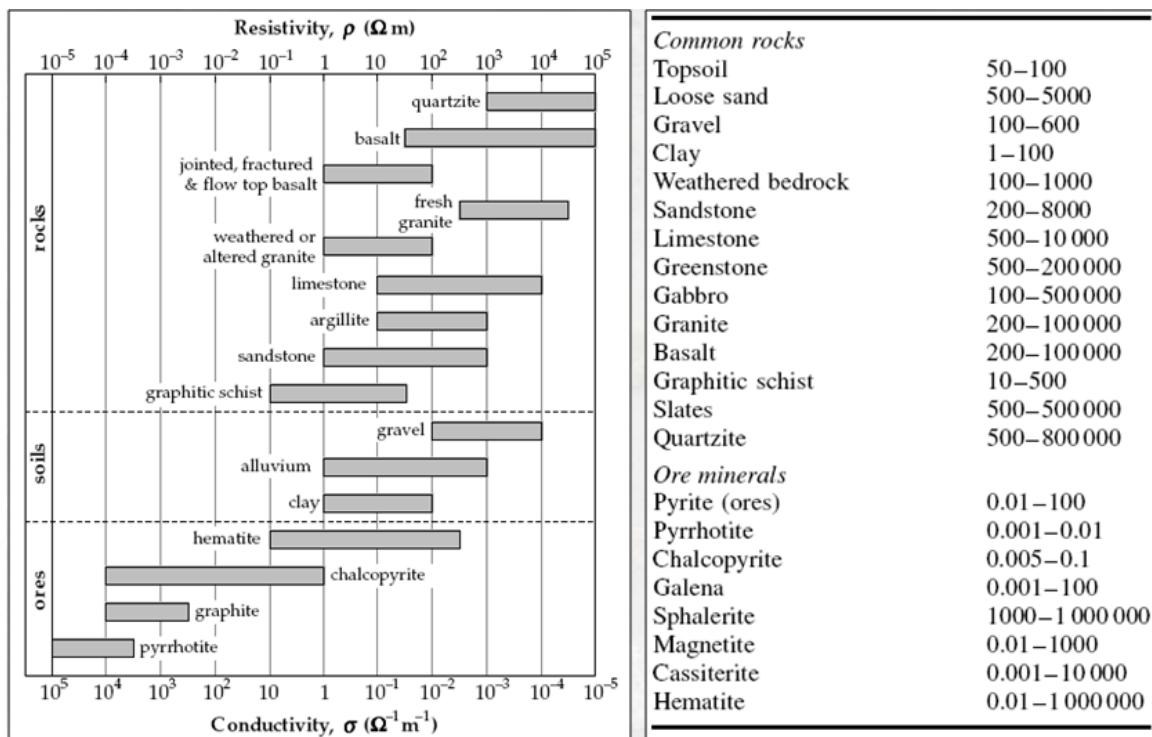
Selain konfigurasi Wenner dan Wenner-Schlumberger, konfigurasi yang dapat digunakan adalah Pole-pole, Pole-dipole dan Dipole-dipole. Pada konfigurasi Pole-pole, hanya digunakan satu elektrode untuk arus dan satu elektrode untuk potensial. Sedangkan elektrode yang lain ditempatkan pada sekitar lokasi penelitian dengan jarak minimum 20 kali spasi terpanjang  $C1-P1$  terhadap lintasan pengukuran. Sedangkan untuk konfigurasi Pole-dipole digunakan satu elektrode arus dan dua elektrode potensial. Untuk elektrode arus  $C2$  ditempatkan pada sekitar lokasi penelitian dengan jarak minimum 5 kali spasi terpanjang  $C1-P1$ . Pada konfigurasi Dipole-dipole, dua elektrode arus dan dua elektrode potensial ditempatkan terpisah dengan jarak  $na$ , sedangkan spasi masing-masing elektrode  $a$ . Pengukuran dilakukan dengan memindahkan elektrode potensial pada suatu penampang dengan elektrode arus tetap, kemudian pemindahan elektrode arus pada spasi  $n$  berikutnya diikuti oleh pemindahan elektrode potensial sepanjang lintasan seterusnya hingga pengukuran elektrode arus pada titik terakhir di lintasan itu.



Gambar 4. Konfigurasi Dipole-Dipole

Nilai *true resistivity* ( $\rho$ ) diperoleh dari *apparent resistivity* ( $\rho_a$ ). Nilai *true resistivity* ( $\rho$ ) pada konfigurasi dipole-dipole yang kompleks. Nilai  $\rho$  diperoleh melalui inversi nilai *apparent resistivity* ( $\rho_a$ ). Inversi dalam Res2dinv merupakan proses pemodelan nilai *true resistivity* ( $\rho$ ) berdasarkan nilai *apparent resistivity* ( $\rho_a$ ). Nilai resistivitas beberapa mineral dapat dilihat pada table 1.

### 2.3. Nilai Resistivity



Gambar 5. Nilai resistivitas material-material bumi (Lowrie & Milsom)

## III. PEROLEHAN DATA DAN PROSEDUR KERJA

### 3.1. Lokasi Pengukuran

Lokasi pengukuran berada di tanggul Lumpur sidoarjo sebelah barat yaitu antara patok 21 dan 22 (Gambar 4) pada koordinat antara 07° 31' 43.3" LS - 07° 31' 49.4" LS dan 112° 42' 11.6" LS - 112° 42' 10.3" LS .



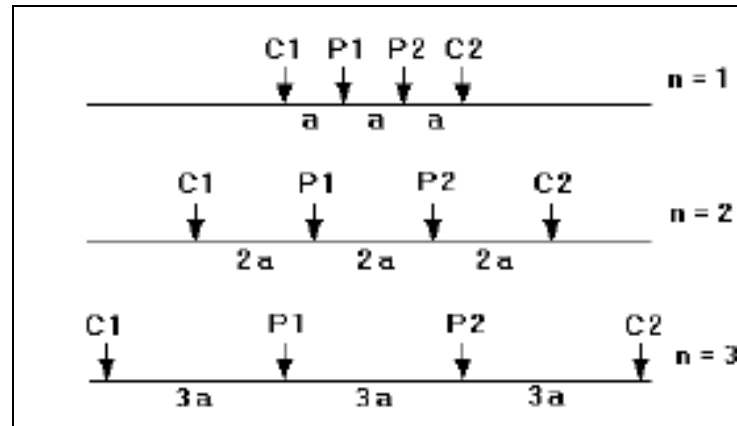
Gambar 6. Lokasi Daerah Monitoring  
(Sumber :

<http://www.crisp.nus.edu.sg/coverages/mudflow/index.html>)

### 3.2. PROSEDUR KERJA

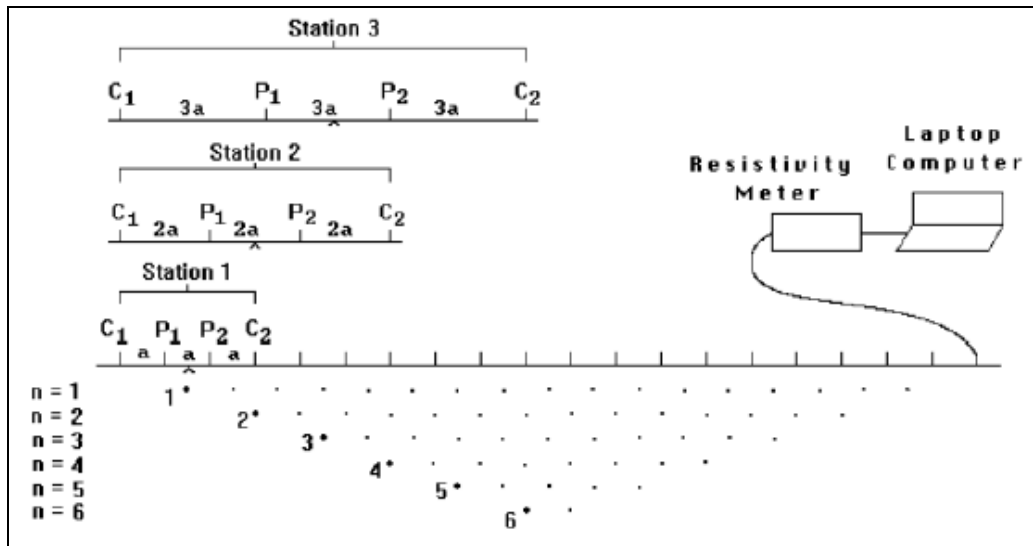
Akuisisi data metode resistivity yang dilakukan ini menggunakan metode dua dimensi (*lateral mapping*) dimana tujuannya adalah mengetahui penyebaran variasi tahanan jenis tanah secara lateral. Konfigurasi wenner dalam metode dua dimensi memiliki beberapa keuntungan (Geotomo, 1999) yaitu memiliki sinyal yang kuat dibandingkan cara

konvensional dan memiliki performa yang lebih bagus dalam menggambarkan lapisan litologi secara lateral. Adapun kelemahannya adalah penetrasi kedalamannya lebih rendah dibandingkan konfigurasi yang lain sehingga konfigurasi ini sangat cocok untuk mengetahui penyebaran lateral dan kedalaman yang relatif dangkal.



Gambar 7. Konfigurasi wenner dengan metode dua dimensi (Geotomo, 1999)

Konfigurasi yang digunakan adalah konfigurasi wenner dengan jarak antara elektroda 10 m. Konfigurasi ini dipilih sebab memiliki resolusi yang bagus untuk memetakan secara lateral. Ilustrasi proses pengambilan data dapat dilihat pada gambar 5 di bawah ini (Geotomo, 1999):



Gambar 8. Cara pengambilan data konfigurasi wenner

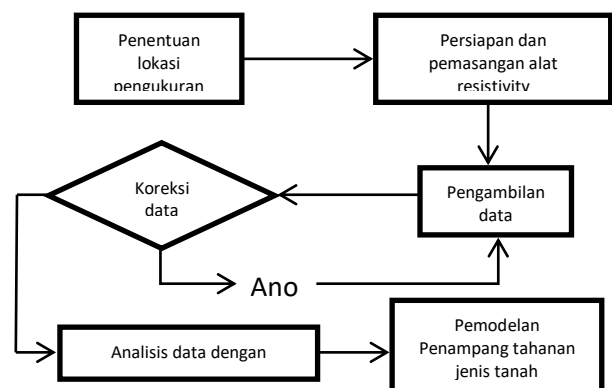
Peralatan yang digunakan dalam pengukuran di lapangan adalah GPS, kompas, Resistivity meter multi-channel, transmitter, accu, elektroda, kabel, palu dan meteran.

Target utama pengukuran adalah tanggul yang telah diketahui ketinggiannya hingga 11 m sehingga pengambilan data menggunakan nilai  $n = 1$  hingga  $n = 4$ . Pengambilan data dilakukan dengan cara injeksi arus listrik searah (*direct current*) kemudian melakukan pencatatan untuk nilai arus dan tegangan pada alat *resistivity meter*. Data – data yang menunjukkan anomali akan di ulang kembali untuk memastikan keakuratan pengukuran. Hasil pencatatan akan diperoleh nilai tahanan jenis tanah dalam ohmmeter ( $\Omega m$ ).

Tahapan selanjutnya proses analisis data menggunakan software Res2DinV. Parameter input program ini adalah resistivitas semu yang telah dihasilkan dari perhitungan data lapangan ditambah dengan data- data pendukung seperti spasi elektroda dan koordinat. Hasil inversi dengan menggunakan perangkat lunak Res2DinV berupa profil penampang

2D secara vertikal yang dapat menunjukkan kedalaman dan sebaran resistivitas sebenarnya. Keluaran Res2DinV dari hasil inversi juga dapat berupa angka/nilai dalam bentuk data koordinat (x, y, z). Data yang dimaksud terdiri atas akumulasi jarak elektroda dari elektroda pertama, kedalaman penetrasi, nilai resistivitas sebenarnya (*true resistivity*) dan konduktivitas material bawah permukaan.

Penjelasan terhadap alur kerja dapat dilihat pada bagan alir dibawah ini (Gambar 6) :



Gambar 9. Bagan Alir metode kerja





Tabel 1. Data tahanan jenis tanah hasil pengukuran

DATA PENGUKURAN GEOLISTRIK <i>LATERAL MAPPING</i> METODA WENNER						
Urutan	Spasi (m)	Lokasi Pengamatan (m)	Tegangan V (mV)	Arus I (mA)	Tahanan Jenis R (Ohm)	Tahanan Jenis Semu $\rho$ (Ohm)
1	10	15	5.2	30	0.1733	10.8853
	10	25	16	115.9	0.1381	8.6695
	10	35	41.8	292.3	0.1430	8.9806
	10	45	21.9	176.9	0.1238	7.7746
	10	55	17.4	104.6	0.1663	10.4467
	10	65	17	107.1	0.1587	9.9683
	10	75	49.6	255.5	0.1941	12.1913
	10	85	54.7	347.8	0.1573	9.8768
	10	95	18.9	147.2	0.1284	8.0633
	10	105	24	133.2	0.1802	11.3153
	10	115	96.5	474	0.2036	12.7852
	10	125	23.2	155	0.1497	9.3997
	10	135	14	79.9	0.1752	11.0038
	10	145	14.6	114.1	0.1280	8.0358
	10	155	10.9	103	0.1058	6.6458
	10	165	20.3	166.9	0.1216	7.6383
	10	175	11.8	119	0.0992	6.2272
	10	185	14.2	138.5	0.1025	6.4387
2	20	30	3	300.4	0.0100	1.2543
	20	40	2	288.9	0.0069	0.8695
	20	50	1.2	181.9	0.0066	0.8286
	20	60	1.63	250.6	0.0065	0.8170
	20	70	2.3	328.8	0.0070	0.8786
	20	80	1.53	186.8	0.0082	1.0287
	20	90	2.5	260.6	0.0096	1.2049
	20	100	2.4	351	0.0068	0.8588
	20	110	1.8	234.3	0.0077	0.9649
	20	120	0.7	105	0.0067	0.8373
	20	130	1.2	167.8	0.0072	0.8982
	20	140	1.8	189.1	0.0095	1.1956
	20	150	1.1	164.2	0.0067	0.8414
	20	160	1.6	151.4	0.0106	1.3273
	20	170	1.5	126.5	0.0119	1.4893
3	30	45	1.9	205.8	0.0092	1.7394
	30	55	0.9	242.5	0.0037	0.6992
	30	65	1.9	324.7	0.0059	1.1024
	30	75	1	143.3	0.0070	1.3147
	30	85	1.2	269.5	0.0045	0.8389
	30	95	1	149.1	0.0067	1.2636
	30	105	1.2	143	0.0084	1.5810
	30	115	1.5	193.4	0.0078	1.4612
	30	125	1.9	176.3	0.0108	2.0304
	30	135	1.2	240.4	0.0050	0.9404
	30	145	1.1	138.1	0.0080	1.5007
	30	155	1.3	281.6	0.0046	0.8697
4	40	60	0.7	233.6	0.0030	0.7527
	40	70	1	307.9	0.0032	0.8158
	40	80	0.5	107.9	0.0046	1.1640
	40	90	0.4	124.3	0.0032	0.8084
	40	100	0.7	165.7	0.0042	1.0612
	40	110	0.3	64.1	0.0047	1.1757
	40	120	0.7	221.2	0.0032	0.7949
	40	130	0.7	228.9	0.0031	0.7682
	40	140	1	221.3	0.0045	1.1351



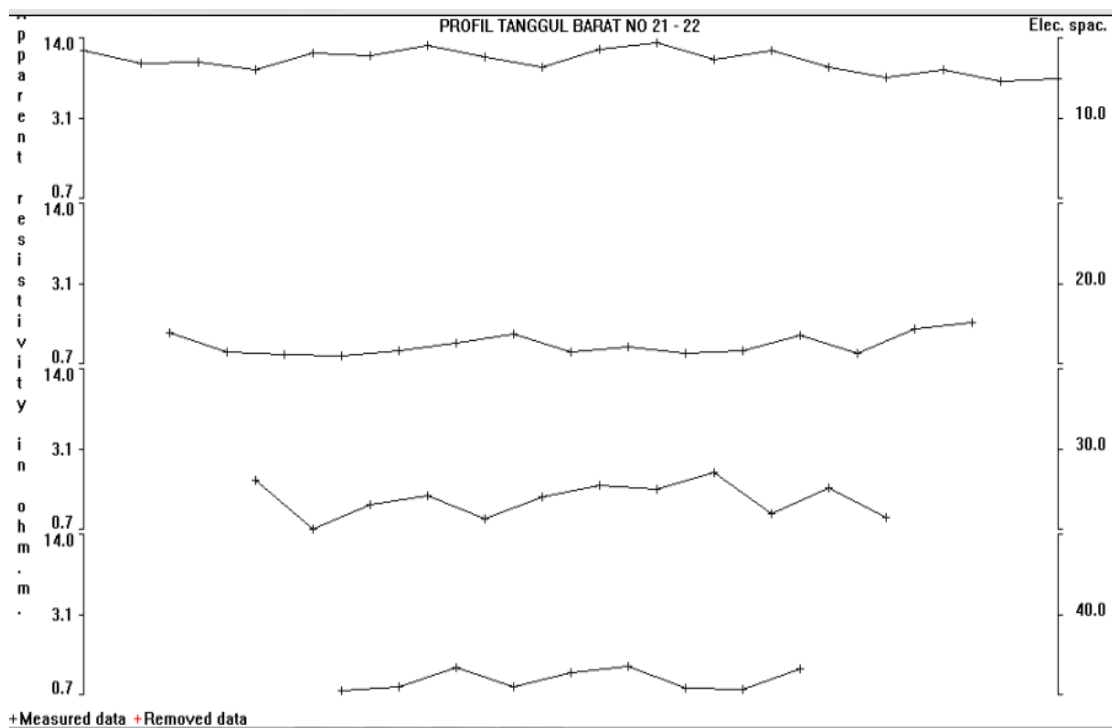
#### IV. PENGOLAHAN DAN ANALISIS DATA

Data yang diperoleh dilapangan berupa lokasi pengukuran, nilai arus listrik dan beda potensial. Data resistivity di lapangan berupa *apparent resistivity* dirubah menjadi *true resistivity* menggunakan software *res2dinv*.

Jumlah data yang diperoleh sebanyak 54 yang terdiri dari 18 data pada n=1, 15 data pada n=2, 12 data pada n=3 dan 9

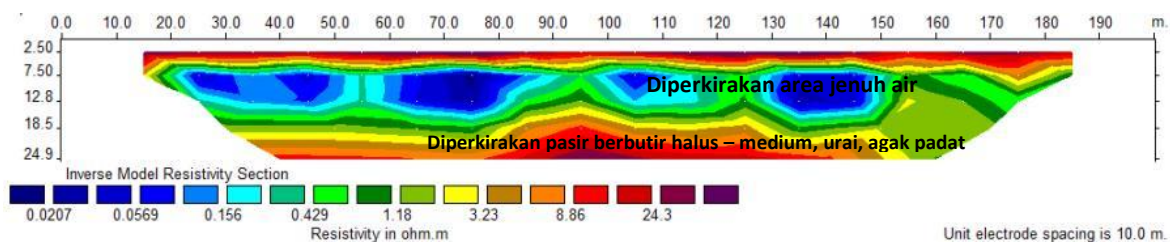
data untuk n=4. Perincian data dapat dilihat pada tabel 1,

Berdasarkan tabel 1 di atas, secara umum nilai tahanan jenis relatif kecil dimana nilai terbesar pada lintasan n = 1 sekitar 12 Ωm dan semakin menurun pada nilai n berikutnya hingga di bawah 1 Ωm pada n = 4. Proses akuisisi data menggunakan software *res2dinv* dimana hasil data menunjukkan variasi yang relatif baik sebagaimana terlihat pada gambar 10 di bawah ini.



Gambar 10. Sebaran variasi data yang menunjukkan pola yang baik

Pembuatan model dilakukan dengan *least square inversion* sedangkan metode numeriknya adalah *finite element method*. Hasil pembuatan model dapat dilihat pada gambar 11 di bawah ini:



Gambar 11. Model penampang tahanan jenis dua dimensi



## PEMBAHASAN

Sebagaimana telah diketahui, pada lokasi pengukuran, tanggul memiliki tinggi 11 m di atas permukaan tanah. Penampang tahanan jenis (Gambar 11) menunjukkan perbedaan yang cukup kontras yang membedakan tanggul dan tanah aslinya. Gradasi penurunan nilai tahanan jenis terlihat hingga kedalaman sekitar 11 – 12 m dan kemudian meningkat kembali nilainya hingga kedalaman sekitar 25 m di bawah permukaan tanggul.

Pemboran inti yang telah dilakukan Timnas pada titik BH – 1 (IKA ADYA, 2007) yang berjarak sekitar 200 m selatan lokasi pengukuran menunjukkan bahwa komposisi litologi material timbunan merupakan campuran material lepas antara lanau, pasir, batulanau, batupasir, dan bongkah andesit sedangkan pada tanah asli (mulai 11 m di bawah permukaan tanggul) merupakan pasir agak padat yang diselingi lapisan lempung lanauan sekitar 2 m. Karakter umum densitas dari uji SPT di BH-1, material timbunan memiliki densitas relatif lebih besar dibandingkan tanah aslinya.

Apabila keadaan litologi dianalogikan berlaku pada lokasi pengukuran maka material timbunan setebal 11 m ada bagian yang lebih konduktif yaitu pada kedalaman 6 – 11 m di bawah permukaan tanggul dibandingkan pada kedalaman kurang dari 6 m sedangkan pada tanah asli bagian yang lebih konduktif antara 11 – 16 m dibandingkan setelah 16 m di bawah permukaan tanggul. Perbedaan tersebut sifat konduktivitas tersebut dikarenakan terdapat material cair yang masuk dalam pori – pori antar partikel tanah/batuan.

Data BH-1 menunjukkan kedalaman muka air tanah adalah 5,4 m di bawah

permukaan tanggul pada saat kondisi tanggul setebal 5,8 m (Februari 2007) dimana kondisi ini merupakan kondisi jenuh air. Apabila diasumsikan dalam kondisi stabil maka muka air tanah saat pengukuran seharusnya pada kedalaman 10,6 m di bawah permukaan tanggul. Berdasarkan Gambar 5 terlihat terjadi kondisi jenuh air mulai 6 – 11 m sehingga kondisi ini menunjukkan suatu fenomena tersendiri. Kemungkinan ada beberapa pemicu dalam proses terjadi penjenahan mulai kedalaman 6 m di bawah permukaan tanggul. Kemungkinan pemicu tersebut antara lain :

1. Kombinasi proses rembesan dari reservoir yang berisi lumpur bercampur cairan dan proses infiltrasi air hujan pada tanggul seiring dengan bertambahnya waktu.
2. Proses pelaksanaan timbunan pada saat keadaan material jenuh air yang terkontaminasi lumpur bercampur cairan.

Faktor nomor 1 di atas di dasarkan atas nilai tahanan jenis tanah yang sangat konduktif bahkan di bawah nilai  $1 \Omega\text{m}$  dimana nilai tersebut pada umumnya merupakan cairan yang mempunyai tingkat salinitas tertentu atau air asin. Hal ini berarti penjenahan di tanggul memiliki tingkat salinitas relatif sedangkan cairan pada reservoir juga memiliki salinitas relatif tertentu sebagaimana terlihat pada gambar 9 yang menunjukkan kandungan garam dalam cairan.



Gambar 9. Kandungan garam dalam cairan

Ada kemungkinan juga faktor pemicu seperti pada nomor dua yaitu masalah pelaksanaan penimbunan karena apabila material timbunan bercampur lumpur yang berasal dari pusat semburan maka boleh jadi terlihat proses penjenuhan seperti pada gambar 8.

Penyebab pasti di proses penjenuhan pada lokasi pengukuran masih perlu dicari tingkat kebenarannya karena satu model penampang tahanan jenis masih

kurang sedangkan data bor yang tersedia bukan berada persis pada lokasi pengukuran. Berdasarkan model penampang tahanan jenis, maka pada posisi daerah jenuh air, kuat geser tanah cenderung melemah, hal ini perlu diwaspadai karena akan menjadi titik lemah tanggul.

## V. KESIMPULAN

1. Metode resistivity dapat digunakan untuk melihat kondisi tanggul sehingga memudahkan dalam melakukan monitoring. Kelebihan dari metode ini adalah dapat dilakukan dengan cepat dan relatif murah.
2. Timbunan tanggul di lokasi pengukuran memiliki zona jenuh air pada kedalaman 7 hingga 11 m (sekitar 4 m), kondisi ini harus diwaspadai dan sebaiknya faktor keamanan untuk kestabilan lereng tanggul sebaiknya dihitung kembali.

## DAFTAR PUSTAKA

1. Geotomo Software, 1999, **Rapid 2D Resistivity & IP Inversion Using The Least Square Method**, Tutorial RES2DINV ver. 3.53, Malaysia
2. Williams Lowrie, 2007, **Fundamentals of Geophysics**, Cambridge Press.
3. Loke, M.H., 1999, **Electric imaging surveys for environmental and engineering studies**, a practical guide to 2d and 3d surveys.
4. PT.IKA ADYA PERKASA, 2007, **Laporan Pekerjaan Penyelidikan Tanah Untuk Detil Desain Evaluasi Tanggul Lumpur Sidoarjo & Revitalisasi Lahan Porong – Sidoarjo, Jawa Timur**, Laporan Akhir untuk PT. Wiratman & Associates, Malang (Tidak dipublikasikan)
5. Reynolds, 1997, **An Introduction to Applied And Environmental Geophysics**, Cambridge University Press, New York.
6. Telford, W. M., Geldart, L. M., dan Sheriff, R. E., 1990, **Applied Geophysics, 2nd Edition**, Cambridge University Press, New York
7. <http://www.crisp.nus.edu.sg/coverages/mudflow/index.html> di akses tanggal 24 Januari 2017