

APLIKASI KONFIGURASI WENNER DALAM MENGANALISIS JENIS MATERIAL BAWAH PERMUKAAN

THE APPLICATION OF WENNER CONFIGURATION TOWARD ANALYSING SUBSURFACE MATERIAL KIND

Hakim¹, Rahma Hi. Manru²

¹Program Studi Fisika, Fakultas Sains Universitas Cokroaminoto Palopo; e-mail: rahma_manru@ yahoo.com

Abstract: We analyzed the subsurface with Wenner configuration application. This study aims to determine the structure of the subsurface with Wenner configuration application. Wenner configuration is one of the geo-electric method, where this method is used to determine the nature of the flow of electricity in the earth in a way to detect it in the earth's surface. This detection covers potential measurements, currents and electromagnetic fields that occur either by injection or flow naturally. The working principle of geo-electric method is done by injecting an electric current into the ground through a pair of electrodes and measuring the potential difference with the other pair of electrodes. When an electric current is injected into a medium and measured the potential difference (voltage), then the value of the resistance of the medium can be estimated. Method of this research is to create a path for three (3) parallel to the trajectory made to local conditions study, the path length of 100 m and the electrode spacing of 5-7 m. The interpretation of the data obtained their ground water, rock conglomerate, limestone and granite at a depth of 17.4 m.

Abstrak: Telah dilakukan analisis bawah permukaan dengan aplikasi konfigurasi Wenner. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui struktur lapisan bawah permukaan dengan aplikasi konfigurasi Wenner. Konfigurasi Wenner merupakan salah satu metode geolistrik, dimana metode ini merupakan metode yang digunakan untuk mengetahui sifat aliran listrik di dalam bumi dengan cara mendeteksinya di permukaan bumi. Pendekstrian ini meliputi pengukuran potensial, arus dan medan elektromagnetik yang terjadi baik itu oleh injeksi arus maupun secara alamiah. Prinsip kerja metode geolistrik dilakukan dengan cara menginjeksikan arus listrik ke permukaan tanah melalui sepasang elektroda dan mengukur beda potensial dengan sepasang elektroda yang lain. Bila arus listrik diinjeksikan ke dalam suatu medium dan diukur beda potensialnya (tegangan), maka nilai hambatan dari medium tersebut dapat diperkirakan. Metode kerja penelitian ini adalah membuat lintasan sebanyak 3 (tiga) lintasan yang dibuat sejajar dengan memperhatikan kondisi daerah penelitian, dengan panjang lintasan 100 m dan jarak elektroda 5-7 m. Hasil interpretasi data diperoleh adanya air tanah, batuan konglomerat, batu gamping dan batu granit pada kedalaman 17,4 m.

© 2016 Pendidikan Fisika FTK IAIN Raden Intan Lampung

Kata kunci: konfigurasi Wenner, bawah permukaan, geolistrik

PENDAHULUAN

Lapisan tanah suatu daerah tergantung dari kondisi geologi dan iklim. Hal tersebut mengakibatkan kondisi struktur lapisan tanah di berbagai daerah beragam. Untuk mengetahui jenis lapisan batuan yang dilalui oleh air tanah, maka dilakukan dengan mencari nilai resistivitas suatu batuan di bawah permukaan tanah.

Geofisika adalah bagian dari ilmu bumi yang mempelajari bumi menggunakan kaidah atau prinsip-prinsip fisika. Geofisika memiliki beberapa cabang yang mempelajari bumi dengan menggunakan prinsip-prinsip fisika yang berbeda-beda, contohnya yaitu metode seismik, metode magnetik, metode gravitasi, metode geolistrik dan metode elektromagnetik.

Metode geolistrik merupakan salah satu metode geofisika yang mempelajari tentang sifat aliran listrik di dalam bumi berdasarkan hukum-hukum kelistrikan. Metode geolistrik ini juga merupakan metode yang digunakan untuk mengetahui sifat aliran listrik di dalam bumi dengan cara mendeteksinya di permukaan bumi. Pendektsian ini meliputi pengukuran potensial, arus dan medan elektromagnetik yang terjadi baik itu oleh injeksi arus maupun secara alamiah. Prinsip kerja metode geolistrik dilakukan dengan cara menginjeksikan arus listrik ke permukaan tanah melalui sepasang elektroda dan mengukur beda potensial dengan sepasang elektroda yang lain. Bila arus listrik diinjeksikan ke dalam suatu medium dan diukur beda potensialnya (tegangan), maka nilai hambatan dari medium tersebut dapat diperkirakan. Metode geolistrik ini merupakan metode yang banyak sekali digunakan dan hasilnya cukup baik untuk memperoleh gambaran mengenai lapisan tanah dibawah permukaan. Pendugaan geolistrik ini didasarkan pada kenyataan bahwa material yang berbeda akan mempunyai tahanan jenis yang berbeda apabila di aliri arus listrik. Salah satu metode geolistrik yang sering digunakan dalam pengukuran aliran listrik dan untuk mempelajari keadaan geologi bawah permukaan adalah metode tahanan jenis atau resistivitas (Hendrayana & Arif, 1990).

Metode resistivitas dilakukan dengan cara menginjeksikan arus listrik dengan frekuensi rendah ke permukaan bumi yang kemudian diukur beda potensial diantara 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. Prinsip ini sama halnya dengan

menganggap bahwa material bumi memiliki sifat resistif atau seperti perilaku resistor, dimana material-materialnya memiliki derajat yang berbeda dalam menghantarkan arus listrik.

Konfigurasi Wenner merupakan salah satu konfigurasi yang sering digunakan dalam eksplorasi geolistrik dengan susunan jarak spasi sama panjang ($r_1=r_4=a$ dan $r_2=r_3=2a$). Jarak antara elektroda arus adalah tiga kali jarak elektroda potensial, jarak potensial dengan titik soundingnya adalah $2/a$, maka jarak masing elektroda arus dengan titik soundingnya adalah $2/3a$. Target kedalaman yang mampu dicapai pada metode ini adalah $2/a$. Dalam akuisisi data lapangan susunan elektroda arus dan potensial diletakkan simetri dengan titik sounding. Pada konfigurasi Wenner jarak antara elektroda arus dan elektroda potensial adalah sama (Telford, et al., 1990).

Berdasarkan latar belakang diatas, maka yang menjadi permasalahan pada penelitian ini adalah bagaimana struktur lapisan bawah permukaan dengan aplikasi konfigurasi Wenner?

Adapun manfaat dari penelitian ini yaitu dapat mengetahui struktur lapisan bawah permukaan dengan aplikasi konfigurasi Wenner.

TINJAUAN PUSTAKA

1. Lapisan Bawah Permukaan

Struktur tanah adalah penyusun antar partikel tanah primer (bahan mineral) dan bahan organic serta oksida, membentuk agregat sekunder. Gatra agregat tanah meliputi bahan padatan dan pori tanah (Rachman Sutanto, 2005).

Bahan yang menyusun kerak bumi secara garis besar menjadi dua kategori: *tanah* (soil) dan *batuan* (rock). Tanah adalah kumpulan (agregat) butiran mineral alami yang bisa dipisahkan oleh suatu cara mekanik bila agregat diaduk dalam air. Sedangkan batuan merupakan agregat mineral yang satu sama lainnya

diikat oleh gaya-gaya kohesi yang permanen dan kuat. Berdasarkan asal mula penyusunnya, tanah dapat dibedakan ke dalam dua kelompok besar, yaitu sebagai hasil pelapukan (weathering) secara fisis dan kimia, dan yang berasal dari bahan organic.

Berdasarkan asal mula penyusunnya, tanah dapat dibedakan kedalam dua kelompok besar, yaitu sebagai hasil pelapukan (weathering) secara fisis dan kimia dan yang berasal dari bahan organik. Jika hasil pelapukan masih berada di tempat asalnya, ia disebut *tanah residual*, apabila telah berpindah tempat, disebut *tanah angkutan* (transported soil) (Telford *et al*, 1990).

Berbagai macam batuan terdapat pada kerak bumi. Ada berwarna kemerah-merahan, kuning, hitam dan sebagainya. Ada bergerigi, bersudut dan lancip, permukaan halus, datar. Dalam penggolongan batuan berdasarkan warna tentu tidak sesuai dengan sasarannya. Agar mendapatkan sasaran yang tepat maka para ahli telah berusaha menggolongkan batuan tersebut yaitu berdasarkan asal batu diperoleh (sumber batu), bentuk batuan, kandungan yang ada

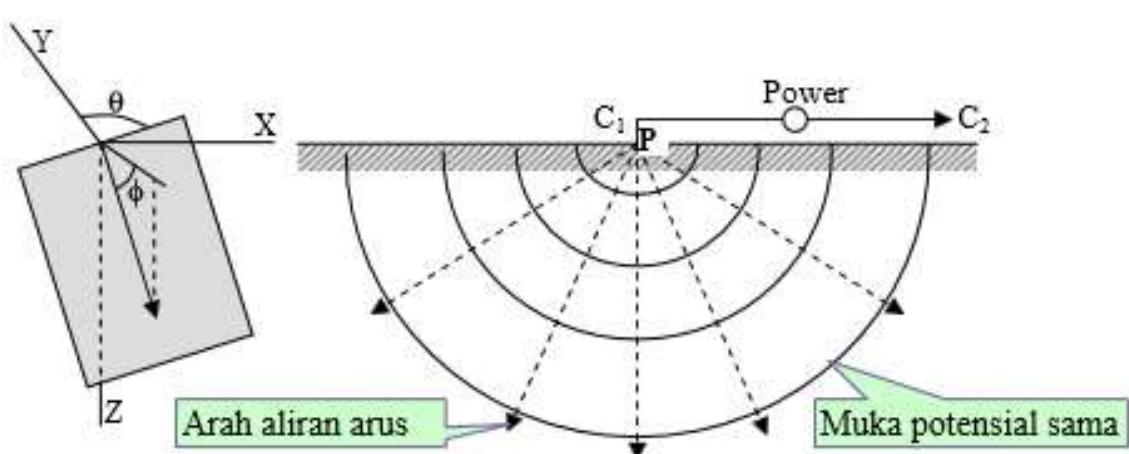
pada batu, proses pembentukan batu dan skala kekerasan batu.

- Batuan yang berasal dari bukit disebut batu bukit
- Batuan yang berasal dari kali disebut batu kali
- Batuan yang berasal dari gunung berapi disebut batu gunung berapi
- Batuan yang berasal dari pasir disebut batu pasir/krikil.

2. Resistivitas

Metode Geolistrik tahanan jenis merupakan salah satu metode Geofika yang menggunakan sifat listrik dengan menginjeksikan arus kedalam bumi melalui dua buah elektroda arus, kemudian mengukur beda potensial yang terjadi diukur melalui dua buah elektroda potensial.

Metoda Geolistrik bumi diasumsikan sebagai medium homogen dan isotropis, arus yang dialirkan ke dalam bumi akan mengalir ke segala arah membentuk bidang equipotensial setengah bola. Penjalaran arus listrik ke dalam bumi dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Titik Sumber Arus pada Permukaan dari Medium Homogen (Loke, 2004)

Bumi yang diasumsikan sebagai medium homogen isotropis pada

kenyataannya merupakan medium non homogen yang terdiri dari banyak

lapisan dengan tahanan jenis yang berbeda-beda, sehingga nilai nilai tahanan jenis yang terukur bukanlah nilai tanahan jenis sebenarnya melainkan nilai tahanan jenis semu. Nilai tahanan jenis semu dirumuskan sebagai berikut:

$$\rho_a = K \frac{\Delta V}{I} \quad (1)$$

Dimana:

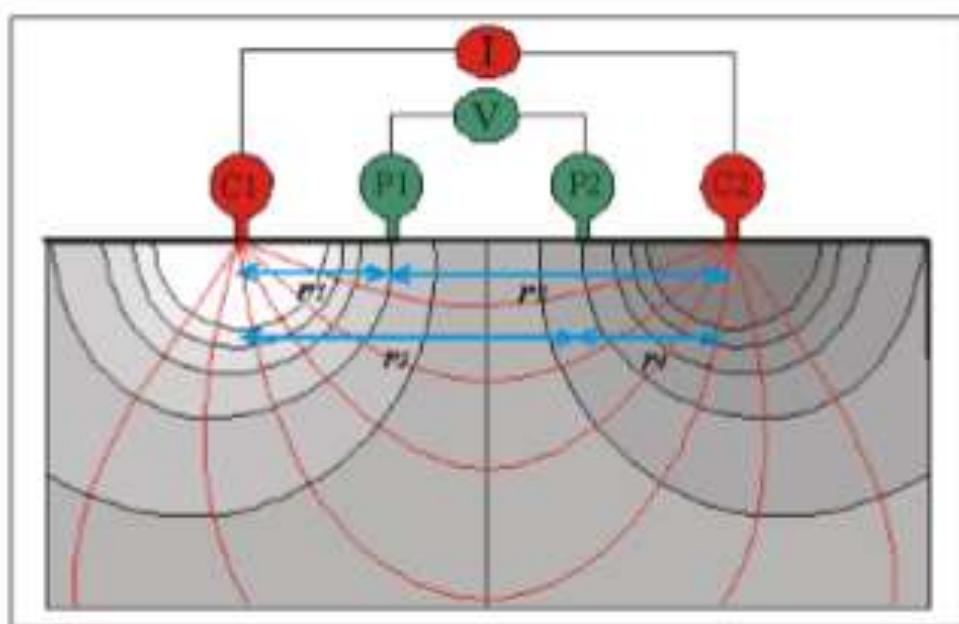
$$K = 2\pi \left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} - \frac{1}{r_3} - \frac{1}{r_4} \right)^{-1} \quad (2)$$

Dimana ρ_a merupakan nilai tahanan jenis semu, K merupakan nilai faktor geometri, ΔV merupakan nilai

beda potensial dan I merupakan nilai arus. Nilai K bergantung kepada jenis konfigurasi yang digunakan.

3. Konfigurasi Wenner

Konfigurasi Wenner merupakan salah satu konfigurasi dalam eksplorasi Geofisika dengan susunan elektroda terletak dalam satu garis yang simetris terhadap titik tengah. Konfigurasi elektroda Wenner memiliki resolusi vertikal yang bagus, sensitivitas terhadap perubahan lateral yang tinggi tapi lemah terhadap penetrasi arus terhadap kedalam. Susunan elektroda konfigurasi Wenner dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Susunan Elektroda Konfigurasi Wenner (Loke & Barker, 1996)

Jarak masing-masing elektroda pada Gambar 2 menjadi:

$$r_1 = r_4 = a \text{ dan } r_2 = r_3 = 2a \quad (3)$$

Harga masing-masing jarak elektroda disubstitusi ke Persamaan (2), maka diperoleh harga K konfigurasi Wenner, sebagai berikut:

$$K = 2a\pi \quad (4)$$

Harga K untuk konfigurasi Wenner disubstitusi ke Persamaan (1), sehingga harga tahanan jenis semu (apparent resistivity, ρ_a)

$$\rho_a = 2\pi a \frac{\Delta V}{I} \quad (5)$$

Dimana ρ_a adalah tahanan jenis semu, I adalah kuat arus, a adalah jarak elektroda, dan ΔV adalah beda potensial. Nilai tahanan jenis yang diperoleh dari pengukuran diestimasi dengan menggunakan metode inversi sehingga didapatkan nilai tahanan jenis sesungguhnya dan kedalamnya. Metode inversi 2D terdiri dari beberapa jenis, salah satunya yaitu metode inversi Robust 2D. Metode inversi Robust 2D 99 meningkatkan tingkat keakuratan dalam pengolahan serta interpretasi data lapangan. Persamaan metode Robust 2D dinyatakan oleh Persamaan (6).

$$y = \emptyset x, + \Delta_{in}(x, u) \quad (6)$$

Dimana $u = \emptyset - 1(x, \varsigma)$ adalah pengontrol inversi dan x merupakan vektor state, yaitu vektor keadaan yang menggambarkan model data dalam n pengukuran dan y merupakan keluaran yang memiliki dua parameter yaitu kedalaman dan tahanan jenis. σ menyatakan input pengontrol pseudo dari sistem inversi. Pengontrol sistem inversi u dinyatakan dengan Persamaan (7).

$$u = B^{-1}(x) y_c - A_1(x) \quad (7)$$

dimana $A(x)$ dan $B(x)$ adalah fungsi nonlinier dari x . Kesalahan inversi dari Δ_{inv} dapat dinyatakan dengan Persamaan (8).

$$\Delta(x, u) = \emptyset x, u - \emptyset(x, u) \quad (8)$$

Inversi Robust 2D dapat membatasi dan meminimalkan perubahan mutlak pada nilai tahanan jenis dan dapat meminimalkan efek outlier dalam data pada model inverse. Inversi ini menghasilkan model antar muka yang tajam di antara daerah yang berbeda dengan nilai tahanan jenis yang berbeda.

METODE PENELITIAN

Jenis penelitian ini merupakan penelitian eksperimen yaitu analisis jenis material bawah permukaan melalui aplikasi konfigurasi Wenner.

Objek pada penelitian ini adalah lapisan bawah permukaan untuk mengetahui nilai resistivitasnya dengan menggunakan metode geolistrik tahanan jenis konfigurasi Wenner. Penelitian ini dilaksanakan pada bulan November 2015.

Adapun alat dan bahan yang digunakan dalam penelitian ini yaitu Resistivimeter, meteran 250 meter, palu geologi, dua pasang elektroda (elektroda potensial dan elektroda arus), kabel 4 rol, aki kering, GPS (*Global Positioning System*), laptop, kamera, dan alat tulis menulis.

Metode Kerja

1. Tahap Persiapan

Penelitian ini terdiri dari atas tiga buah lintasan. Lintasan 1, 2 dan 3 berada pada posisi yang sejajar. Adapun panjang masing-masing lintasan 100 meter dan jarak elektroda sebesar 5 meter. Pengambilan data dilaksanakan dengan alat resistivimeter Naniura NRD22S. Penelitian ini dilakukan melalui beberapa tahap yaitu:

2. Tahap Pengambilan Data

Adapun prosedur dalam pengambilan data adalah sebagai berikut:

- a. Menentukan lintasan pengukuran dan arah lintasan dengan menggunakan kompas geologi.
- b. Memasang elektroda dengan lebar spasi jarak elektroda 5 meter.
- c. Menyusun rangkaian resistivimeter berdasarkan konfigurasi Wenner.
- d. Mengaktifkan resistivimeter kemudian menginjeksikan arus listrik kedalam tanah melalui elektroda yang sudah terpasang.
- e. Melakukan pengukuran pada lintasan dan mencatat arus listrik (I) dan beda potensial (ΔV) antara 2 titik elektroda.

- f. Menghitung tahanan jenis (ρ_a) hasil pengukuran.

3. Tahap Pengelolahan Data

- a. Data tersebut diolah berdasarkan persamaan tahanan jenis semu, sehingga diperoleh nilai tahanan jenis semu (ρ_a) dengan memasukkan nilai ΔV , I , a dan K ke dalam program *Microsoft Excel*.
- b. Kemudian data tersebut diolah dengan menggunakan *Software Res2dinv*.

4. Tahap Interpretasi Data

Berdasarkan citra warna dan perbedaan resistivitasnya, dapat diinterpretasikan berdasarkan nilai resistivitas sebenarnya

Teknik Analisis Data

Menghitung faktor geometri konfigurasi Wenner (Telford, 1988) dengan persamaan: $K_w = 2\pi a$

Kemudian Menghitung nilai resistivitas semu konfigurasi Wenner dengan persamaan sebagai berikut:

$$\rho_w = K_w \frac{\Delta V}{I} \quad (9)$$

Setelah data tersebut didapatkan, selanjutnya diolah dengan menggunakan *Software Res2dinv*.

HASIL DAN PEMBAHASAN

1. Hasil Pengamatan

Hasil pengamatan disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1. Hasil pengukuran konfigurasi Wenner

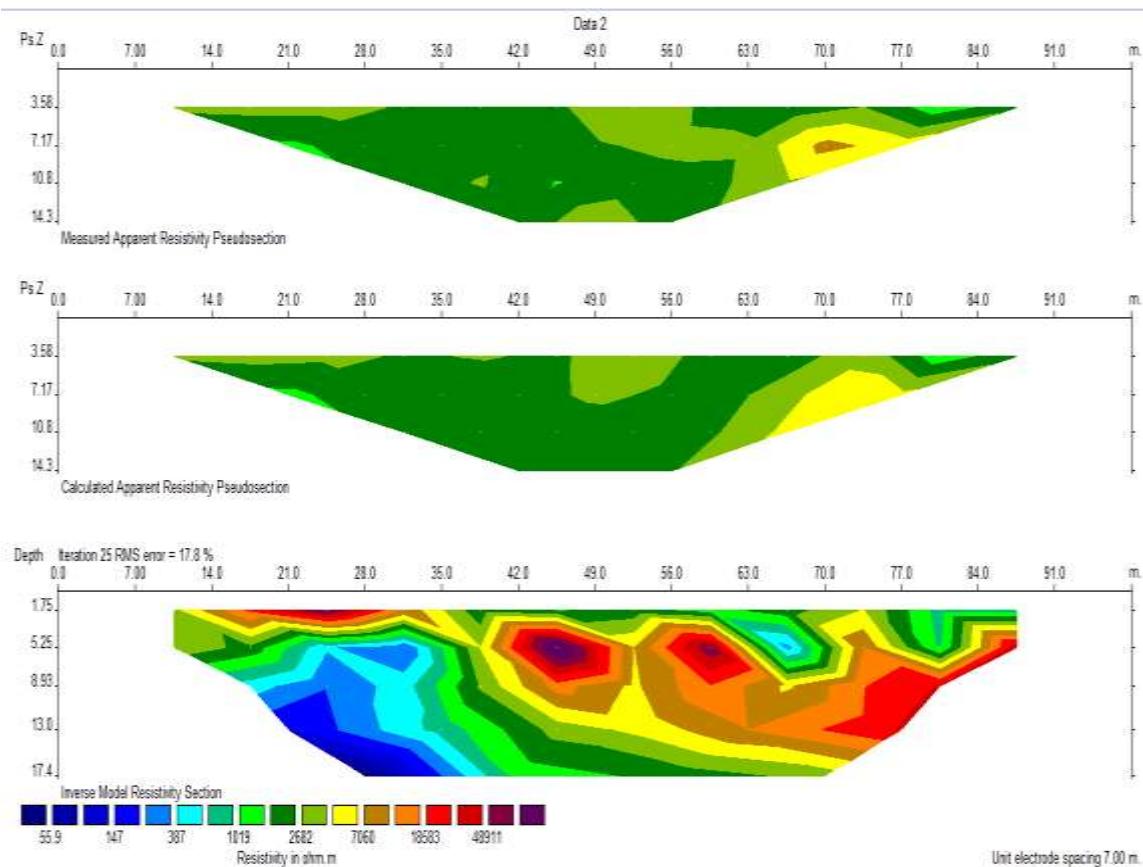
No	N	A	V	I	R	K	Rho
1	1	7	1409	21	67.09524	43.96	2949.507
2	1	7	1698	24	70.75	43.96	3110.17
3	1	7	1062	15	70.8	43.96	3112.368
4	1	7	2745	47	58.40426	43.96	2567.451
5	1	7	1271	23	55.26087	43.96	2429.268
6	1	7	1075	19	56.57895	43.96	2487.211
7	1	7	2656	29	91.58621	43.96	4026.13
8	1	7	1565	29	53.96552	43.96	2372.324
9	1	7	2600	61	42.62295	43.96	1873.705
10	1	7	1225	20	61.25	43.96	2692.55
11	1	7	1146	42	27.28571	43.96	1199.48
12	1	7	2486	47	52.89362	43.96	2325.203
13	2	14	1421	20	71.05	87.92	6246.716
14	2	14	1598	22	72.63636	87.92	6386.189
15	2	14	1272	24	53	87.92	4659.76
16	2	14	1701	32	53.15625	87.92	4673.498
17	2	14	1852	36	51.44444	87.92	4522.996
18	2	14	1190	22	54.09091	87.92	4755.673
19	2	14	1113	24	46.375	87.92	4077.29
20	2	14	1405	12	117.0833	87.92	10293.97
21	2	14	1974	27	73.11111	87.92	6427.929
22	3	21	1026	17	60.35294	131.88	7959.346
23	3	21	2413	33	73.12121	131.88	9643.225

24	3	21	1307	37	35.32432	131.88	4658.572
25	3	21	2656	68	39.05882	131.88	5151.078
26	3	21	495	13	38.07692	131.88	5021.585
27	3	21	610	10	61	131.88	8044.68
28	4	28	442	10	44.2	175.84	7772.128
29	4	28	1021	13	78.53846	175.84	13810.2

2. Pembahasan

Berdasarkan data yang diperoleh di atas maka dapat diolah menggunakan *Software Res2Dinv*, didapatkan distribusi harga hambatan jenis bawah permukaan berupa citra dalam bentuk penampang vertikal dengan tampilan 2D. Pengolahan data dengan *Software Res2Dinv* menggunakan program inversi dilakukan dengan 2 tahap yaitu pada tahap pertama hasil pemodelan 2D menampilkan penampang tanpa adanya efek topografi dimana tampilan 2D yang dihasilkan dari *Software Res2Dinv* terdiri dari 3 kontur isoresistivitas pada penampang kedalam

semu (*pseudodepth section*). Penampang pertama menunjukkan kontur resistivitas semu pengukuran (*measured apparent resistivity*) yaitu data resistivitas semu yang diperoleh dari pengukuran di lapangan. Penampang yang kedua menunjukkan kontur resistivitas semu dari hasil perhitungan (*calculated apparent resistivity*). Penampang yang ketiga adalah kontur resistivitas sebenarnya yang diperoleh setelah melalui proses pemodelan inversi (*inverse model resistivity section*).



Gambar 3. Hasil aplikasi *Software Res2Dinv*

Dalam menganalisa struktur lapisan di bawah permukaan pada daerah penelitian diperlukan data nilai hambatan jenis dari pengukuran di lapangan dan data pendamping yaitu berupa nilai hambatan jenis dari beberapa tipe batuan yang telah diketahui sehingga itu merupakan acuan dalam menginterpretasikan data hasil pengukuran untuk memperkirakan nilai resistivitasnya.

Pengukuran pada lintasan ini yaitu sepanjang 98 meter dengan titik awal (titik 0 meter) berada pada arah 60° dari Utara dengan variasi jarak antar elektroda berturut-turut 7 meter, 14 meter, 21 meter, dan 28 meter. Hasil model penampang 2D pada lintasan ini dikorelasikan dengan pengukuran manual dimensi.

Berdasarkan korelasi hasil pengukuran manual dimensi bawah permukaan dan pengukuran geolistrik serta dengan melibatkan data-data pendamping lainnya maka dapat dijelaskan bahwa:

- a. Nilai hambatan jenis yang berkisar antara 55,9-147 Ω meter diidentifikasi merupakan air permukaan.
- b. Nilai resistivitas yang berkisar antara 147-387 Ω meter diidentifikasi merupakan konglomerat.
- c. Nilai resistivitas yang berkisar antara 387-1019 Ω meter diidentifikasi merupakan serpih.
- d. Nilai resistivitas yang berkisar antara 1019-2682 Ω meter diidentifikasi merupakan batu gamping.
- e. Nilai resistivitas yang berkisar antara 2682-7060 Ω meter diidentifikasi merupakan batu granit.

Berdasarkan penampang hasil korelasi, daerah penelitian pada kedalaman 5,25 m sampai 17,4 m dengan bentangan elektroda 3 sampai 5 atau panjangnya 14 m diidentifikasi merupakan material yang mengandung air

tanah hal ini dibuktikan bahwa dikisaran lokasi tersebut terdapat sungai disamping elektroda pertama.

Elektroda 10 di kedalaman 1,75 m, elektroda 12 sampai 13 di kedalaman 1,75 m sampai 5,25 m dan elektroda 6 sampai 9 di kedalaman 8,93 m sampai 17,4 m memiliki nilai resistivitas berkisaran 147Ω meter sampai 387Ω meter merupakan batuan konglomerat karena terbukti bahwa di sekitar lokasi pengukuran merupakan dasar gunung.

Elektroda 6 sampai 9 di kedalaman 1,75 m di bawah permukaan tanah mengandung batuan gamping karena terletak di samping dasar gunung, sedangkan di elektroda 3 sampai 5 pada kedalaman 1,75 m dari permukaan tanah merupakan batuan yang keras.

SIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

Berdasarkan hasil pengukuran geolistrik dengan konfigurasi Wenner di daerah penelitian maka dapat disimpulkan bahwa Konfigurasi Wenner dapat digunakan untuk menganalisis jenis material cair dan keras terbukti dengan terdapat beraneka ragam jenis mineral dengan nilai resistivitas yang berkisar antara 55,5-48911 Ω meter dan jenis-jenis materialnya air tanah, batuan gamping, konglomerat dan granit serta terdapat batuan keras di sekitarnya.

Saran

Untuk memperoleh hasil yang lebih baik maka disarankan:

1. Perlu dilakukan penelitian dengan metode geofisika lainnya sehingga dapat dilakukan perbandingan untuk memperoleh hasil yang lebih akurat.
2. Perlu dilakukan penelitian yang berkelanjutan yakni dengan penambahan titik ukur dan memperkecil spasi elektroda. Hal ini dimaksudkan agar profil bawah permukaan dapat terdeteksi secara

keseluruhan sehingga dapat tergambar struktur bawah tanah yang lebih jelas.

DAFTAR PUSTAKA

- Hendrajaya, L. 1990. *Pengukuran Resistivitas Bumi pada Satu Titik di Medium Tak Hingga*. Bandung: Laboratorium Fisika Bumi ITB.
- Irjan. 2012. *Pemetaan Potensi Air Tanah (Aquifer) Berdasarkan Interpretasi Data Resistivitas Wenner Sounding*. Jurnal Neutrino, 4(2): 201-212.
- Karunia, D. N., Darsono & Darmanto. 2012. *Identifikasi Pola Aliran Sungai Bawah Tanah di Mudal, Pracimantoro dengan Metode Geolistrik*. Indonesian Journal of Applied Physics, 2(2):91-101.
- Kearey, P., Michael Brooks, Ian Hill, 2002. *An Introduction to Geophysical Exploration*: Third Edition, Blackwell Science Ltd., United Kingdom.
- Loke, M.H., 1999. *RES2DINV ver. 3.3 for Windows 3.1, 95 and NT; Rapid 2D Resistivity & IP Inversion Using The Least-squares Method (Wenner, dipole-dipole, inline pole-pole, pole-dipole, equatorial dipole-dipole, Schlumberger) On land, Underwater and Cross-Borehole Surveys*, Penang, Malaysia.
- Loke, M.H., 2000. *Electrical Imaging Surveys for Environmental and Engineering Studies; A Practical Guide to 2-D and 3-D Surveys*, Penang, Malaysia.
- Lowrie, W., 2007. *Fundamentals of Geophysics*: Second Edition, Cambridge University Press, USA.
- Reynolds, J.M., 1997. *An Introduction to Applied and Environmental Geophysics*, John Wiley & Sons Ltd., Chichester, England.
- Syamsulrizal, Cari & Darsono. 2013. *Aplikasi Metoda Resistivitas Untuk Indentifikasi Litologi Batuan Sebagai Studi Awal Kegiatan Pembangunan Pondasi Gedung*. Indonesian Journal of Applied Physics, 3(1):99-106.
- Telford, W.M., Geldart, L.P. and Sheriff, R.E., 1990. *Applied Geophysics*: Second Editon, Cambridge University Press, USA.