

Pemodelan Akuifer Air Tanah dengan Metode Geolistrik Tahanan Jenis Konfigurasi Dipole-dipole

Sari Dewi Tarigan^{1,a)}, Alamta Singarimbus^{2,b)}

Laboratorium Fisika Bumi,
Kelompok Keilmuan Fisika Bumi dan Sistem Kompleks,
Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Institut Teknologi Bandung,
Jl. Ganesha no. 10 Bandung, Indonesia, 40132

^{a)} saridewitarigan@gmail.com (corresponding author)

^{b)} alamta@fi.itb.ac.id

Abstrak

Air merupakan kebutuhan pokok yang tidak terlepas dari kehidupan manusia. Air yang biasa digunakan untuk memenuhi kebutuhan sehari-hari diambil dari dalam tanah dan disebut air tanah. Salah satu metode geofisika yang dapat digunakan untuk mengetahui keberadaan air tanah adalah metode geolistrik. Metode geolistrik tahanan jenis mempelajari keadaan bawah permukaan bumi dengan menganalisis nilai resistivitas lapisan bawah permukaan bumi sehingga dapat diketahui keberadaan air tanahnya. Penelitian ini bertujuan untuk memodelkan keberadaan air tanah (akuifer) berdasarkan data nilai tahanan jenis lapisan bawah permukaan bumi. Metode yang digunakan untuk pemodelan akuifer air tanah yaitu metode geolistrik tahanan jenis dengan menggunakan konfigurasi Dipole-dipole dan dapat ditampilkan pencitraannya dengan menggunakan Software Res2Dinv. Pemodelan ini ditunjukkan untuk melihat karakteristik dan sifat fisis akuifer air tanah sehingga dapat memperkenalkan pembelajaran fisika tentang kelistrikan melalui metode geolistrik tahanan jenis.

Kata-kata kunci: Air tanah, metode geolistrik, konfigurasi Dipole-dipole, software Res2Dinv

PENDAHULUAN

Air merupakan kebutuhan pokok yang diperlukan oleh setiap makhluk hidup di bumi. Khususnya pada manusia, air sangat diperlukan untuk kebutuhan sehari-hari misalnya untuk air minum, memasak, membersihkan serta untuk irigasi maupun bidang industri. Berdasarkan pentingnya kebutuhan air bersih tersebut maka diperlukan suatu perencanaan yang baik untuk mengelola air dengan benar agar kebutuhan air secara kuantitas maupun kualitas dapat terpenuhi.

Berbagai upaya dapat dilakukan untuk menanggulangi kebutuhan air yaitu dengan memanfaatkan teknologi berdasarkan ilmu pengetahuan yang ada. Salah satu teknologi yang dapat digunakan berdasarkan keilmuan teknik geofisika yaitu metode geolistrik tahanan jenis. Metode geolistrik tahanan jenis merupakan suatu metode geofisika yang dapat digunakan untuk memprediksi keberadaan air tanah melalui analisis nilai resistivitas atau tahanan jenis batuan di bawah permukaan bumi pada suatu daerah tertentu.

Metode geolistrik ini dapat mendeteksi keberadaan air tanah dan penyebarannya pada lapisan akuifer melalui analisis nilai resistivitas (tahanan jenis). Kemampuan metode geolistrik dalam menganalisis nilai resistivitas lapisan bawah permukaan bumi termasuk air tanah dilakukan dengan cara menginjeksi dua buah elektroda ke dalam tanah menggunakan arus searah sehingga dapat diketahui beda potensialnya dan dapat diperoleh informasi nilai tahanan jenis lapisan bawah permukaan tersebut [4].

Penggunaan metode geolistrik tahanan jenis ini telah dilakukan oleh beberapa orang. Pada satu kasus [1] digunakan metode geolistrik untuk mengetahui keberadaan air tanah dengan memanfaatkan sifat batuan yang mampu mengalirkan arus listrik. Selain itu pada kasus lain juga digunakan metode geolistrik tahanan jenis

untuk mengetahui lokasi sumber air tanah sebagai penentuan posisi dan kedalaman pengeboran air tanahnya pada daerah Garongkong [6].

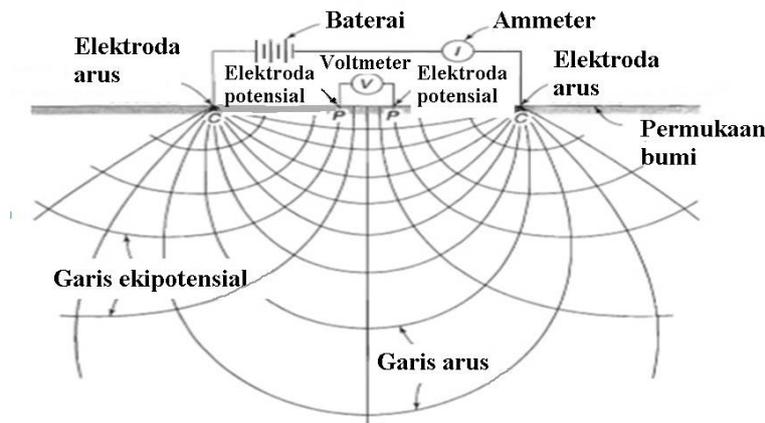
Berdasarkan pemikiran tersebut maka tulisan ini bertujuan untuk untuk memodelkan keberadaan air tanah (akuifer) berdasarkan nilai tahanan jenis batuan di bawah permukaan Bumi sehingga dapat diperkenalkan pada pembelajaran Fisika untuk murid SMA. Pemodelan yang digunakan berdasarkan metode geolistrik tahanan jenis konfigurasi Dipole-dipole dan hasil pencitraannya menggunakan *Software Res2Dinv*.

GEOLISTRIK TAHANAN JENIS

Metode Geolistrik

Metode geolistrik adalah salah satu metode geofisika yang mempelajari keadaan bawah permukaan bumi dengan menganalisis nilai tahanan jenis (*resistivity*) lapisan permukaan bumi sehingga dapat diketahui kondisi air tanahnya. Metode ini dilakukan dengan cara menginjeksi dua buah elektroda ke dalam tanah menggunakan arus listrik searah dengan jarak tertentu sehingga dengan mengalirkan arus searah dapat diketahui beda potensial dan diperoleh informasi tahanan jenis lapisan bawah permukaan bumi tersebut [5].

Metode geolistrik tahanan jenis dapat digolongkan kepada metode geolistrik yang aktif. Hal ini disebabkan karena metode ini menggunakan arus listrik yang diinjeksikan (dialirkan) ke dalam tanah. Arus listrik yang digunakan dapat berupa arus listrik searah (DC) atau dapat juga menggunakan arus listrik bolak-balik (AC) yang berfrekuensi rendah. Berdasarkan penjelasan Telford [5] menegaskan bahwa arus bolak-balik (AC) yang memiliki frekuensi rendah digunakan untuk menghindari potensial spontan, efek polarisasi dan menghindari pengaruh kapasitansi tanah yaitu kecenderungan tanah untuk menyimpan muatan. Pola sebaran aliran arus listrik dengan menggunakan dua elektroda arus dan dua elektroda potensial yang berada di bawah permukaan bumi kami ilustrasikan pada Gambar 1.



Gambar 1. Pola sebaran aliran arus listrik dengan dua elektroda arus dan dua elektroda potensial di bawah permukaan Bumi (Todd, 1980)

Berdasarkan Hukum Ohm terdapat hubungan antara beda potensial listrik, arus listrik, dan hambatan listrik yaitu sebagai berikut [9] :

$$\Delta V = \vec{I}R \tag{1}$$

Dimana ΔV adalah beda potensial dengan satuan volt (V), I adalah arus listrik dengan satuan ampere (A) dan R adalah hambatan atau resistivitas dengan satuan Ohm (Ω). Resistivitas (simbol ρ) diperoleh berdasarkan konsep Hukum Ohm yaitu adanya arus listrik yang mengalir melalui suatu penampang konduktor [9].

$$R = \rho \frac{L}{A} \tag{2}$$

Dengan ρ adalah tahanan jenis konduktor (satuan Ω m), L adalah panjang kawat (satuan m) dan A adalah luas penampang kawat (satuan m^2). Persamaan (1) dan (2) dapat menjadi persamaan berikut :

$$\frac{\Delta V}{I} = \rho \frac{L}{A} \tag{3}$$

dengan ΔV adalah beda potensial yang terjadi diantara jarak dua elektroda sehingga diperoleh persamaan tahanan jenis semunya ρ [9].

$$\rho = \frac{2\pi}{\left[\left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2}\right) - \left(\frac{1}{r_3} - \frac{1}{r_4}\right)\right]} \frac{\Delta V}{I} \tag{4}$$

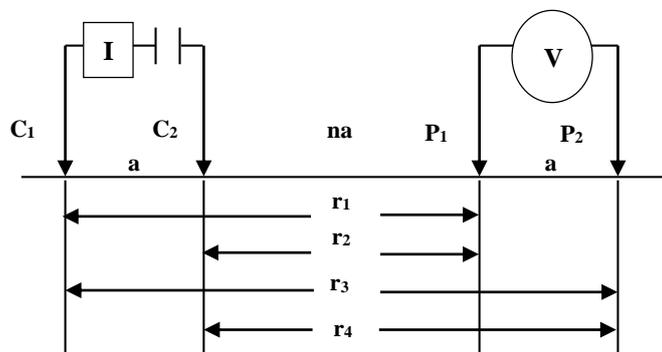
atau

$$\rho = K \frac{\Delta V}{I} \tag{5}$$

dengan

$$K = \frac{2\pi}{\left[\left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2}\right) - \left(\frac{1}{r_3} - \frac{1}{r_4}\right)\right]} \tag{6}$$

Metode Geolistrik Konfigurasi Dipole-dipole



Gambar 2. Susunan elektroda Konfigurasi Dipole-dipole

Gambar 2. menunjukkan susunan elektroda pada metode geolistrik konfigurasi Dipole-dipole. Pada metode geolistrik konfigurasi Dipole-dipole, C₁ dan C₂ merupakan elektroda arus, sedangkan P₁ dan P₂ merupakan elektroda potensial. Jarak antara elektroda arus C₁ C₂ sama dengan jarak antara elektroda potensial P₁ P₂ yaitu a. Sedangkan jarak antara elektroda arus C₂ dan elektroda potensial P₁ yaitu na. Tahanan jenis semu pada metode geolistrik :

$$\rho = K \frac{\Delta V}{I} \tag{7}$$

dengan faktor geometri konfigurasi Dipole-dipole [5] $K = \pi n(n+1)(n+2)a$

Data yang digunakan dalam makalah ini merupakan data yang diambil dari literatur melalui studi kepustakaan untuk menentukan keberadaan air tanah (akuifer) dengan menggunakan *Software Res2Dinv*. Data tersebut kemudian diakusisi menggunakan konfigurasi elektroda Dipole-dipole. Data yang diperoleh berupa nilai resistivitas listrik berdasarkan sebaran data resistivitasnya untuk mengetahui lokasi keberadaan reservoir air tanah.

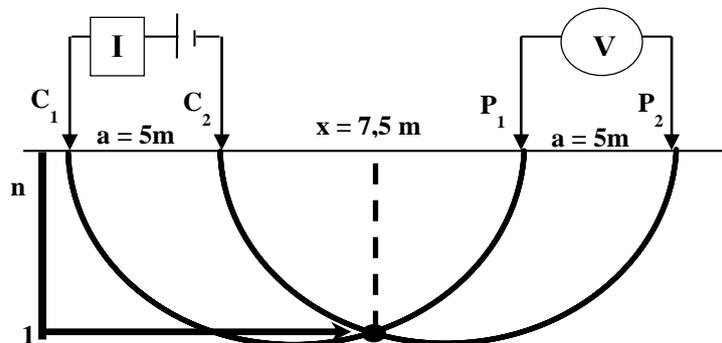
Metode geolistrik konfigurasi Dipole-dipole pada umumnya memiliki prinsip dasar yang sama dengan konfigurasi lainnya yaitu dengan menginjeksi elektroda arus ke dalam tanah sehingga dapat diukur beda potensialnya. Perbedaan antara konfigurasi Dipole-dipole dengan konfigurasi lainnya terletak pada penyusunan elektroda yang disesuaikan dengan kondisi pengukuran di lapangan dan kedalaman material yang ingin diketahui nilai resistivitasnya di bawah permukaan Bumi.

Penyusunan elektroda arus dan elektroda tegangan yang berbeda mengakibatkan penggunaan faktor geometri (K) yang berbeda pula. Untuk konfigurasi Dipole-dipole digunakan faktor geometri dengan $K = \pi n(n+1)(n+2)a$. Selain itu konfigurasi yang berbeda juga menghasilkan titik datum yang berbeda dengan konfigurasi geolistrik lainnya. Konfigurasi Dipole-dipole menghasilkan titik datum yang dapat menjangkau lapisan bawah permukaan Bumi dengan radius cakupan yang lebih lebar.

Metode geolistrik konfigurasi Dipole-dipole menggunakan dua elektroda arus dan dua elektroda tegangan yang diinjeksikan ke dalam tanah. Jarak antara elektroda arus dan elektroda tegangan yaitu na sedangkan jarak atau spasi antara masing-masing elektroda adalah sama yaitu a (jarak C₁C₂ = jarak P₁P₂ = a). Variasi nilai n dapat digunakan dapat memperoleh kedalaman pengukuran yang diinginkan, semakin besar nilai n

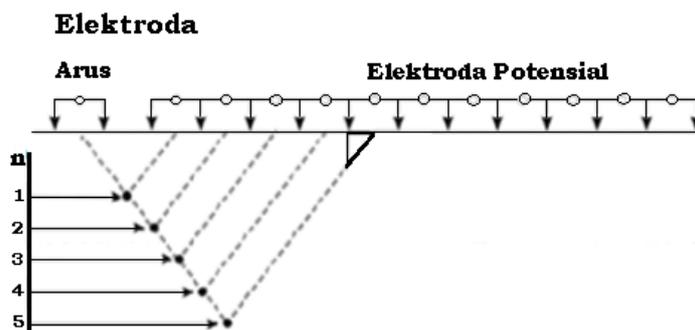
maka kedalaman yang diperoleh juga semakin besar. Tingkat sensitivitas jangkauan pada konfigurasi Dipole-dipole dipengaruhi oleh besarnya spasi elektroda a dan variasi n yang digunakan [5].

Berdasarkan pemodelan konfigurasi Dipole-dipole di atas maka dapat diketahui arah aliran arus listrik yang diinjeksikan ke bawah permukaan Bumi tersebut. Misalnya diketahui jarak spasi $a = 5$ meter dan $n = 1$ maka dapat diperoleh jarak titik datum (x). Pemodelan arah aliran listrik di bawah permukaan Bumi tersebut diilustrasikan berdasarkan Gambar 3.



Gambar 3. Pemodelan titik datum konfigurasi Dipole-dipole

Dari pengukuran dengan konfigurasi Dipole-dipole tersebut dapat diperoleh pemodelan titik-titik datum dengan asumsi bahwa lapisan bawah permukaan Bumi tersebut homogen. Titik datum awal dapat diperoleh dengan perumusan $\frac{1}{2}(\text{jarak}(C_1C_2) + \text{jarak}(P_1P_2) + (axn))$ satuan. Berdasarkan perumusan tersebut konfigurasi Dipole-dipole kami modelkan pada Gambar 4.



Gambar 4. Pemodelan Konfigurasi Dipole-dipole (Morais, 2008)

Kemudian untuk mengukur seluruh daerah dengan panjang 100 m dapat dilakukan dengan memindahkan posisi elektroda arus C_1 dan C_2 dan elektroda potensial P_1 dan P_2 pada titik-titik pengukuran yang sudah ditentukan. Pemindahan elektroda tersebut disertai dengan menginjeksikan arus dan mencatat arus listrik yang mengalir (I) dan beda potensial (V) yang terjadi antara dua titik elektroda. Pengukuran terus-menerus dilakukan sampai seluruh area terlindungi.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Interpretasi Gambar

Data yang telah diperoleh kemudian dianalisis untuk memperoleh nilai resistivitasnya menggunakan Microsoft Excel. Kemudian data tersebut disusun sesuai dengan aturan *software* Res2Dinv kemudian menyimpannya dengan format notepad.DAT, agar proses pengerjaan dapat berjalan dengan baik. Selanjutnya data tersebut disusun dan ditulis ke dalam notepad berdasarkan aturan penyusunan *software* Res2Dinv sebagai berikut :

- Baris 1 : Nama dari garis survey (konfigurasi Dipole-dipole)
- Baris 2 : Spasi elektroda terpendek ($a = 5$ m)
- Baris 3 : Tipe pengukuran (Dipole-dipole = 3)
- Baris 4 : Jumlah total datum point (65)

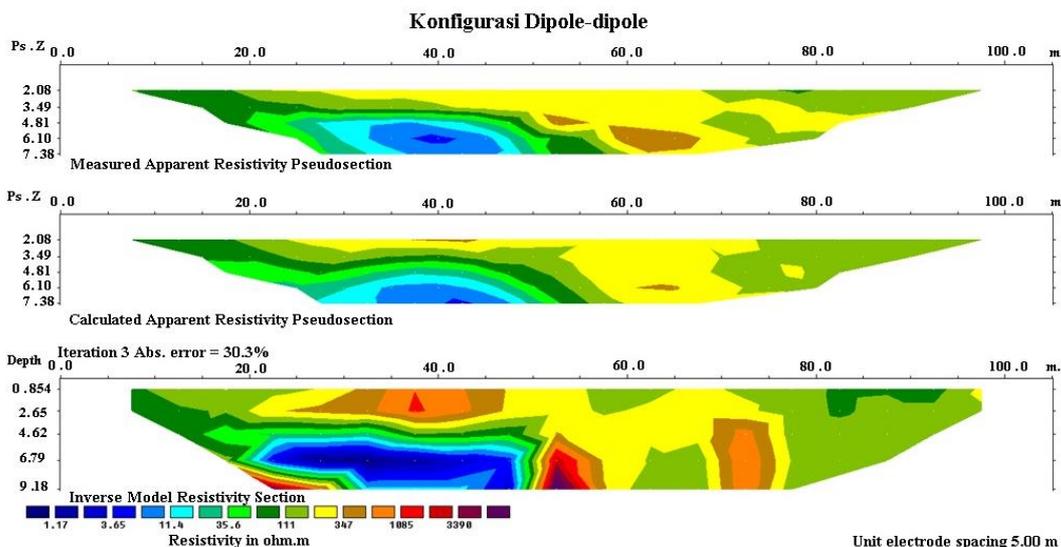
Baris 5 : Tipe dari lokasi x untuk datum point digunakan 1 karena titik tengah diketahui.
 Baris 6 : digunakan 0 untuk data resistivitas.
 Baris 7 : Posisi x, spasi elektroda untuk datum point pertama (7,5).
 Baris 8 : Lokasi x, spasi elektroda dan resistivitas semu yang terukur untuk datum point kedua (12,5).
 Dan seterusnya untuk datum point berikutnya. Sebagai catatan lokasi x dari datum point harus terus meningkat.
 Penyusunan *notepad* yang dihasilkan terdapat pada Gambar 5.

Konfigurasi Dipole-dipole				
5				
3				
65				
1				
0				
7.5	5	1	112.72	
12.5	5	2	93.74	
17.5	5	3	82.56	
22.5	5	4	52.45	
27.5	5	5	41.21	
12.5	5	1	100.32	
17.5	5	2	72.43	
22.5	5	3	42.56	
27.5	5	4	17.67	
32.5	5	5	20.12	
17.5	5	1	100.23	
22.5	5	2	92.43	
27.5	5	3	17.84	
32.5	5	4	7.41	
37.5	5	5	10.01	

Gambar 5. Penyusunan notepad pada konfigurasi Dipole-dipole

Data hasil pengukuran yang telah ditulis ke dalam bentuk *notepad* berdasarkan aturan penyusunan *software* Res2Dinv dapat ditampilkan dengan mengklik *File*, kemudian pilih *Read data file*. Kemudian *input file* yang ada pada *notepad* maka *software* Res2dinv akan membaca data yang telah diinput tadi. Proses menampilkan gambar 2D hasil inversi dapat dilakukan langkah berikutnya yaitu klik *Inversion*, kemudian pilih *Least squares inversion*.

Software Res2dinv akan menginversi data sehingga menghasilkan tiga buah gambar, yaitu : tahanan jenis terukur (*measured apparent resistivity pseudosection*), tahanan jenis terhitung (*calculated apparent resistivity pseudosection*), dan model tahanan jenis hasil inversi (*inverse model resistivity section*). Tampilan gambar yang dapat dianalisis berdasarkan hasil inversi tersebut adalah gambar ketiga yang merupakan model tahanan jenis hasil inversi. Berdasarkan model tahanan jenis hasil inversi dapat diprediksi potensi air tanah pada suatu lapisan batuan di bawah permukaan Bumi. Prediksi yang diperoleh meliputi letak akuifer dalam tanah pada jarak tertentu dan kedalaman tertentu. Hasil pencitraan yang diperoleh dari program Res2Dinv terdapat pada Gambar 6.



Gambar 6. Pencitraan yang Dihasilkan Program Res2Dinv

Tampilan gambar tersebut dapat diprediksi adanya potensi air tanah berdasarkan lintasan penampang elektroda yang dihasilkan. Lapisan batuan yang diprediksi berpotensi air tanah terletak pada jarak 20 meter sampai 50 meter dari bentangan awal. Potensi air tersebut diperkirakan terdapat pada kedalaman 4,62 meter sampai 9,18 meter. Nilai resistivitas pada rentangan 1,17 sampai 3,65 ohmmeter diperkirakan terdapat campuran air tanah dengan *clay*, namun pada daerah ini dapat dijadikan lokasi pencarian air tanah.

Selain itu pada nilai resistivitas 11,4 sampai 35,6 ohmmeter diperkirakan air tanah tersebut bercampur pada *alluvium*. Pada lapisan ini masih dapat ditemukan adanya air tanah namun potensi keberadaan air tanahnya kurang signifikan. Untuk lapisan batuan yang memiliki nilai resistivitas diatas dari 111 sampai 3390 ohmmeter diperkirakan merupakan lapisan batuan yang memiliki potensi air semakin kecil. Sehingga pada lapisan batuan ini kurang efektif dijadikan lokasi pencarian air tanah.

Data nilai tahanan jenis tersebut dapat digunakan sebagai bahan pertimbangan untuk memprediksi potensi air tanah pada suatu lapisan batuan di bawah permukaan Bumi. Selain data nilai resistivitas diperlukan juga peta geologi pada daerah tersebut agar prediksi yang digunakan semakin juga tepat.

Pembelajaran Fisika untuk Murid SMA dengan Pengenalan Metode Geolistrik Tahanan Jenis

Konsep dasar metode geolistrik tahanan jenis ini juga digunakan pada kurikulum fisika SMA di sekolah. Berdasarkan pada silabus KTSP yang digunakan dapat diketahui bahwa konsep dasar metode geolistrik ini terdapat pada mata pelajaran Fisika kelas X semester II. Metode geolistrik ini tersusun ke dalam standar kompetensinya yaitu dengan menerapkan konsep kelistrikan dalam berbagai penyelesaian masalah dan produk teknologi. Berdasarkan hal ini maka metode geolistrik tahanan jenis merupakan salah satu aplikasi dari materi kelistrikan di sekolah.

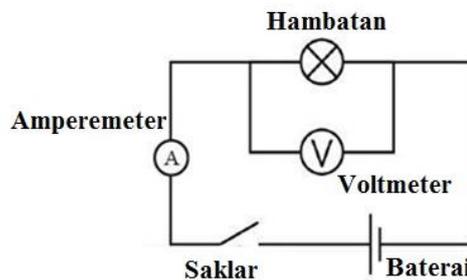
Widodo mengatakan [8] bahwa terdapat hubungan antara arus listrik, beda potensial dan hambatan dalam suatu rangkaian listrik. Telah diketahui bahwa penyebab terjadinya arus listrik yang mengalir dikarenakan adanya beda potensial listrik dalam suatu rangkaian tertutup. Hal ini dipertegas oleh Nufus [3] dan Suparmo [7] yang menyatakan konsep Hukum Ohm dalam tulisan referensinya. Melalui referensi tersebut dituliskan percobaan untuk membuktikan hubungan antara arus yang mengalir pada suatu penghantar, hambatan penghantar, dan tegangan antara ujung penghantar. Dari percobaan tersebut diperoleh bahwa grafik hubungan antara tegangan (V) dan kuat arus (I) akan berupa garis lurus miring. Kemiringan garis ini merupakan nilai hambatan atau resistansi. Sehingga dapat disimpulkan bahwa besar kuat arus sebanding dengan tegangan dan berbanding terbalik dengan hambatan penghantar.

Percobaan tersebut sesuai dengan Hukum Ohm yang dapat dituliskan dalam bentuk persamaan berikut :

$$I = \frac{V}{R} \tag{8}$$

atau
$$R = \frac{V}{I} \tag{9}$$

Permodelan rangkaian listrik yang membahas tentang Hukum Ohm kami ilustrasikan pada Gambar 7.



Gambar 7. Pemodelan Rangkaian Listrik

Berdasarkan prinsip Hukum Ohm tersebut diketahui bahwa arus listrik dapat mengalir jika terdapat beda potensial antara dua titik pada suatu rangkaian listrik tertutup. Besarnya arus listrik dapat diukur dengan meletakkan Amperemeter dalam rangkaian seri. Sedangkan beda potensial pada suatu rangkaian listrik tertutup dalam diukur dengan jika disusun secara paralel.

Jika arus listrik dan beda potensial pada suatu rangkaian listrik diketahui maka hambatan pada rangkaian tersebut juga dapat diketahui. Hal ini berdasarkan prinsip Hukum Ohm yang menyatakan bahwa arus listrik

sebanding dengan beda potensial dan berbanding terbalik dengan hambatannya. Maka untuk mencari nilai hambatan, besar beda potensial yang diperoleh dibagikan dengan arus yang terukur.

Persamaan pada Hukum Ohm juga digunakan pada metode geolistrik tahanan jenis. Nilai resistivitas memiliki hubungan antara luas penampang, panjang lintasan yang dilalui serta hambatan arus listrik yang mengalir. Pada suatu lapisan bawah permukaan Bumi yang dianggap homogen, maka arus listrik akan mengalir secara radial. Sehingga berdasarkan Telford [5] diperoleh persamaan nilai resistivitas ρ yaitu :

$$\rho = \frac{2\pi\Delta V}{I} \frac{1}{\left\{ \left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} \right) - \left(\frac{1}{r_3} - \frac{1}{r_4} \right) \right\}} \quad (10)$$

Pada metode geolistrik tahanan jenis konfigurasi Dipole-dipole, nilai resistivitas suatu batuan di bawah permukaan Bumi dapat diperoleh melalui persamaan sebagai berikut :

$$\rho = K \frac{\Delta V}{I} \quad (11)$$

dengan $K = \pi n(n+1)(n+2)a$

Berdasarkan hal tersebut jika diketahui beda potensial yang terukur pada konfigurasi Dipole-dipole adalah 2,429 mV dengan arus 2,03 mA, jarak $a = 5$ m dan $n = 1$ maka dapat diperoleh nilai resistivitasnya $\rho = 112,72$ Ohm.m

KESIMPULAN

Dari studi ini kami mengajukan catatan penting, yaitu :

1. Potensi air tanah terletak pada jarak 20-50 meter dari bentangan awal dan pada kedalaman 4,62 meter sampai 9,18 meter.
2. Lapisan batuan dengan nilai resistivitas 1,17-3,65 ohm.m diperkirakan terdapat air tanah dengan *clay*, dan daerah ini dapat dijadikan lokasi pencarian air tanah.
3. Air tanah yang bercampur *alluvium* pada resistivitas 11,4-35,6 ohm.m dapat dijadikan potensi air tanah namun kurang signifikan.
4. Lapisan batuan dengan nilai resistivitas diatas 111 ohm.m kurang efektif dijadikan lokasi pencarian air tanah.
5. Metode geolistrik tahanan jenis dapat digunakan sebagai pengenalan pembelajaran Fisika untuk murid SMA.
6. Konsep dasar metode geolistrik tahanan jenis terdapat pada hubungan antara arus listrik, beda potensial dan hambatan dalam suatu rangkaian listrik berdasarkan prinsip Hukum Ohm.
7. Metode geolistrik tahanan jenis dapat dijadikan salah satu contoh aplikasi dari materi kelistrikan di sekolah sehingga dalam pengembangannya dapat menjadi bahan ajar untuk murid SMA.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Dr. Eng. Alamta Singarimbun atas bimbingan yang sangat bermanfaat serta dukungan semua pihak dari awal hingga selesainya proses penulisan ini.

REFERENSI

1. E. Rolia, *Penggunaan Metode Geolistrik untuk Mendeteksi Keberadaan Air Tanah*, Jurnal Tapak, Volume : 1, 1 (2011)
2. F. Morais, *Study Of Flow In Vadose Zone From Electrical Resistivity Surveys*, Journal of Sociedade Brasileira de Geofísica, Volume : 26, 115-122 (2008)
3. N. Nufus, A. Furqon, *Fisika: untuk SMA/MA Kelas X*, Jakarta, Pusat Perbukuan, Departemen Pendidikan Nasional (2009)
4. M. H. Loke, *Electrical Imaging Surveys for Environmental and Engineering Studies*, <http://www.geo.mtu.edu/~ctyoung/LOKENOTE.PDF> (1999)
5. M. Telford, L. P. Geldizrt, R. E. Sheriff, *Applied Geophysics Second Edition*, Cambridge, Cambridge University Press, p. 535-536 (1990)

6. Sultan, *Penyelidikan Geolistrik Resistivity pada Penentuan Titik Sumur Bor untuk Pengairan di Daerah Garongkong Desa Lempang Kecamatan Tanete Riaja Barru*, Teknik Geologi Universitas Hasanuddin, Makasar, Jurnal Penelitian Enjiniring, Volume : 12 , 2 , 151-158 (2009)
7. Suparmo, T. Widodo, *Panduan Pembelajaran Fisika untuk SMA/MA Kelas X*, Jakarta, Pusat Perbukuan, Departemen Pendidikan Nasional (2009)
8. T. Widodo, *Fisika untuk SMA dan MA Kelas X*, Jakarta, Pusat Perbukuan, Departemen Pendidikan Nasional (2009)
9. W. Lowrie, *Fundamental of Geophysics*, New York, Cambridge University Press (2002)