

PERANCANGAN DAN PEMBUATAN ALAT UKUR RESISTIVITAS TANAH

Faqih Muallifah*

Abstrak : Pada penelitian ini telah dirancang dan dibuat alat untuk mengukur resistivitas tanah. Metode resistivitas adalah salah satu metode geolistrik yang digunakan untuk mempelajari sifat resistivitas dari lapisan batuan di bawah permukaan. Di dalam penelitian ini digunakan konfigurasi Wenner. Prinsip kerja alat ini adalah dengan menginjeksikan arus ke dalam bumi melalui dua elektroda arus (terletak di luar konfigurasi). Beda potensial yang terjadi diukur melalui dua elektroda potensial yang berada di dalam konfigurasi. Dari hasil pengukuran arus dan beda potensial untuk setiap jarak tertentu, dapat ditentukan variasi harga hambatan jenis masing – masing lapisan titik ukur (titik sounding). Dari hasil penelitian, diketahui bahwa resistivitas tanah untuk jarak elektroda 0.5 meter: 559.81 Ω m; 1 meter: 1146.41 Ω m; 2 meter: 2307.56; 3 meter: 3470.07 Ω m; 4 meter: 5833.59 Ω m; 5 meter: 5262.12 Ω m; 6 meter: 8715.51 Ω m; 7 meter: 10281.95 Ω m. Dari sini dapat ditarik sebuah kesimpulan, bahwasanya resistivitas (hambatan jenis) tiap jenis tanah berbeda, semakin panjang jarak elektrodanya, maka semakin dalam target pengukuran, dan resistivitasnya juga semakin besar. Dari hasil pengukuran data di lapangan yang dilakukan secara berulang (sebanyak tiga kali pengukuran) diketahui bahwa alat yang telah di buat sudah stabil, yang dibuktikan dengan nilai pembacaan V dan I pada 3 (tiga) kali pengukuran pada setiap titik mempunyai nilai yang hampir sama.

Kata Kunci: Pengukuran, Resistivitas Tanah, Konfigurasi Wenner

PENDAHULUAN

Struktur bawah permukaan kemungkinan merupakan suatu sistem perlapisan dengan nilai resistivitas yang berbeda-beda. Banyak faktor yang mempengaruhi nilai resistivitas ini antara lain: homogenitas tiap tanah, kandungan mineral logam, kandungan aquifer (misalnya : air, minyak, dan gas), porositas, permeabilitas, suhu, dan umur geologi tanah. Adanya kenyataan ini menunjukkan bahwa bila dilakukan pengukuran di permukaan, maka yang diukur bukan resistivitas yang sebenarnya, melainkan kombinasi nilai resistivitas berbagai macam tanah, baik karena variasi lateral maupun vertikal. Nilai resistivitas di setiap titik akan memiliki besar yang berbeda, sehingga menyebabkan bidang equipotensial menjadi tidak beraturan.

Dahulu, sebelum adanya sebuah teknologi canggih, untuk mengetahui sistem perlapisan tanah itu dengan cara mengiris bumi, dan ini membutuhkan waktu yang sangat lama, dan dengan berkembangnya zaman, berkembang pulalah sebuah teknologi untuk mengetahui sistem perlapisan tanah dalam waktu yang singkat.

Di dalam ilmu geofisika, ada beberapa metode untuk mengetahui keadaan geologi bawah tanah, diantaranya: metode resistivity, geomagnetic, dan seismic. Adapun di dalam penelitian ini digunakan metode resistivitas yang dalam pengoperasiannya menggunakan konfigurasi Wenner. Metode ini merupakan salah satu metode geofisika yang dapat memberikan gambaran susunan dan kedalaman lapisan batuan, dengan mengukur sifat kelistrikan batuan (Priyanto 1989 dalam Kalmiawan *et al*, 2000). Selanjutnya Loke (1999a) mengungkapkan bahwa survey geolistrik metoda resistivitas *mapping* dan *sounding* menghasilkan informasi perubahan variasi harga resistivitas baik arah *lateral* maupun arah *vertikal*.

Pada metode geolistrik resistivitas ini, arus diinjeksikan ke dalam bumi melalui dua elektroda arus (terletak di luar konfigurasi). Beda potensial yang terjadi diukur

(*) Pemerhati fisika

melalui dua elektroda potensial yang berada di dalam konfigurasi. Dari hasil pengukuran arus dan beda potensial untuk setiap jarak tertentu, dapat ditentukan variasi harga hambatan jenis masing-masing lapisan titik ukur (titik sounding).

Tujuan metode ini adalah untuk mengetahui sistem perlapisan tanah. Perbedaan hambatan jenis berbagai jenis tanah mewakili karakteristik tiap lapisan tersebut. Besarnya hambatan jenis diukur dengan mengalirkan arus listrik dan memperlakukan lapisan batuan sebagai media penghantar arus. Ketika arus listrik diinjeksikan ke permukaan bumi, nilai resistivitas yang diamati secara tidak langsung adalah resistivitas suatu lapisan tertentu. Namun resistivitas ini bukanlah nilai sebenarnya melainkan resistivitas semu. Besaran ini tidak boleh diartikan sebagai suatu harga rata-rata, resistivitas semu merupakan suatu konsep abstrak yang didalamnya mengandung suatu keterangan tentang kedalaman dan sifat suatu lapisan tertentu.

Oleh karena itu, penulis mencoba merancang dan membuat alat ukur resistivitas tanah dengan metode resistivitas menggunakan konfigurasi Wenner, yang mana dengan adanya alat ini, kita dapat mengetahui nilai hambatan jenis, dengan diketahuinya sebuah nilai hambatan jenis, kita dapat mengetahui perlapisan tanah, menentukan jenis tanah, kandungan tanah, dan potensi tanah tersebut.

Sebenarnya alat ini sudah ada dipasaran, akan tetapi harganya sangat mahal sekali. Oleh sebab itu, peneliti akan mencoba membuat sebuah alat ukur resistivitas tanah dengan metode resistivitas menggunakan konfigurasi Wenner, dengan harga yang lebih terjangkau dan alatnya lebih portable.

Berangkat dari hal tersebut di atas, untuk mengetahui secara detail jenis tanah ataupun sistem perlapisan tanah dalam penelitian ini, penulis mengangkat tema "*Perancangan Dan Pembuatan Alat Ukur Resistivitas Tanah*", maksud dari resistivitas ini adalah bukan mengukur resistivitasnya secara langsung, akan tetapi resistivitas ini digunakan sebagai salah satu parameter fisik dalam penentuan jenis tanah maupun sistem perlapisan tanah.

KAJIAN TEORI

Resistivitas

Pada rangkaian listrik sederhana berlaku hukum Ohm yang menyatakan bahwa beda potensial atau potensial drop akibat suatu beban berbanding lurus dengan arus listrik. Konstanta proporsionalitas dalam kesebandingan adalah resistansi beban tersebut. Hukum Ohm dinyatakan oleh persamaan sebagai berikut :

$$V = I.R \quad (\text{Effendi, dkk.2007}). \quad (1)$$

Dimana V adalah tegangan, satuannya volt, R , dikenal sebagai hambatan, satuannya adalah ohm, I adalah kuat arus, satuannya ampere, dan kebalikan dari harga konduktivitas listrik suatu bahan adalah resistivitas atau hambatan jenis, dengan simbol ρ (rho). Bahan konduktor memiliki resistivitas yang rendah.

$$\rho = \frac{1}{\sigma} \text{ Ohm meter} \quad (\text{Effendi, dkk.2007}). \quad (2)$$

Metode Resistivitas

Metode resistivitas adalah salah satu metode geolistrik yang digunakan untuk mempelajari sifat resistivitas dari lapisan batuan di bawah permukaan (Santoso, 2002). Prinsip metode resistivitas adalah dengan mengalirkan arus listrik ke dalam bumi melalui kontak dua elektroda arus, kemudian diukur distribusi potensial yang dihasilkan. Resistivitas batuan bawah permukaan dapat dihitung dengan mengetahui besar arus yang dipancarkan melalui elektroda tersebut dan besar potensial yang dihasilkan. Untuk mengetahui struktur bawah permukaan yang lebih dalam, maka jarak masing-masing elektroda arus dan elektroda potensial ditambah secara bertahap. Semakin besar spasi elektroda maka efek penembusan arus ke bawah makin dalam, sehingga batuan yang lebih dalam akan dapat diketahui sifat-sifat fisisnya.

Pengukuran resistivitas batuan dipengaruhi oleh beberapa faktor seperti homogenitas batuan, kandungan air, porositas, permeabilitas, dan kandungan mineral.

Hasil pengukuran yang sudah diolah kemudian dikorelasikan dengan pengetahuan geologi sehingga akan memberikan informasi mengenai keadaan geologi bawah permukaan secara logis pada daerah penelitian.

Konsep dasar pengukuran resistivitas batuan dimodifikasikan dari pengukuran tahanan suatu sampel bahan di laboratorium yang skemanya diberikan oleh Gambar 2.1,

$$R = \rho \frac{L}{A} \tag{3}$$

dengan R = Tahanan yang diukur (Ω)

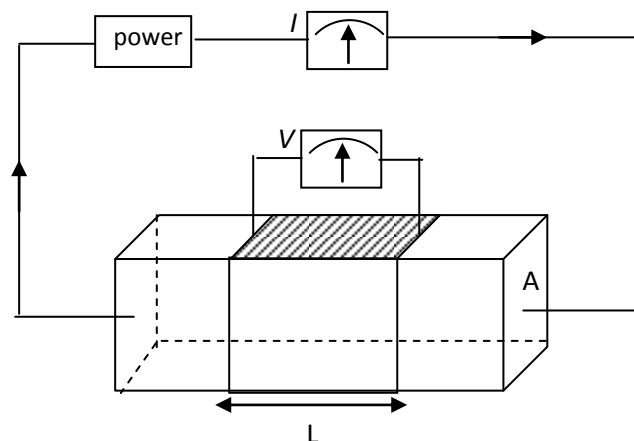
ρ = Resistivitas bahan (Ωm)

L = panjang (meter)

A = Luas penampang (meter^2)

karena $R = \frac{V}{I}$ (4)

maka $\rho = \frac{V}{I} \cdot \frac{A}{L}$ (5)



Gambar 1. Resistivitas medium berbentuk balok dengan luas penampang A dan panjang L , beda potensial diukur pada kedua ujung kotak tersebut dengan memasukkan nilai arus I

dengan V = beda potensial (volt)

I = kuat arus yang melalui bahan (ampere)

Sedangkan konduktivitas dapat dinyatakan dalam persamaan,

$$\sigma = \frac{1}{\rho} \quad (6)$$

dari persamaan (2.3) dan (2.4) diperoleh persamaan,

$$\sigma = \frac{J}{E} \quad (7)$$

dengan : J = rapat arus = $\frac{I}{A_s}$

$$E = \text{medan listrik} = \frac{V}{L}$$

yang merupakan hukum ohm dalam bentuk rapat arus.

Pemakaian metode geolistrik adalah untuk mendeteksi informasi- informasi tersebut pada dasarnya menggunakan fenomena alam yang berhubungan dengan kondisi batuan di dalam bumi. Fenomena alam yang dimaksudkan adalah :

a. Resistivitas

Resistivitas adalah resistansi yang terukur antara muka- muka yang berlawanan dari sebuah kubus yang memiliki rusuk- rusuk sepanjang 1 cm. Resistivitas jenis ini didapatkan secara tidak langsung, dalam arti nilai awal yang didapatkan adalah nilai resistansinya yang didapatkan sebagai akibat adanya sifat menahan arus sehingga menimbulkan beda potensial pada titik ukur.

b. Aktivitas Elektrokimia

Ini disebabkan oleh adanya elektrolit yang terdapat di dalam bumi, jadi bumi dianggap sebagai bahan yang bersifat kapasitif.

c. Konstanta Dielektrik

Konstanta dielektrik adalah ukuran kepolaritasan material dalam medan listrik. Konstanta dielektrik menentukan kapasitas induktif efektif dari suatu material batuan dan merupakan respon statik untuk medan- medan listrik baik AC maupun DC (Dobrin, 1988).

Metode geolistrik resistivitas dapat dibagi menjadi dua berdasarkan tujuan pengukuran di lapangan, yaitu :

a. Metode resistivitas sounding

Metode ini dipakai bila ingin mendapatkan distribusi hambatan jenis listrik bumi terhadap kedalaman dibawah suatu titik di permukaan bumi. Dalam metode ini spasi antara elektroda dengan titik pengukuran diperbesar secara berangsur-angsur, bila spasinya makin besar maka efek material yang lebih dalam akan tampak. Konfigurasi elektroda yang dapat untuk tujuan ini terutama adalah wenner.

b. Metode resistivitas mapping

Metode ini bertujuan untuk mengetahui variasi hambatan jenis bumi secara lateral ataupun horizontal. Kedalaman dibawah permukaan yang tersurvei adalah sama. Dalam pengukuran ini jarak antara elektrode dipertahankan tetap dan secara bersama-sama digeser sepanjang lintasan pengukuran (Sheriff, 1986).

Konfigurasi

Metoda geolistrik terdiri dari beberapa konfigurasi, misalnya yang ke 4 buah elektrodanya terletak dalam satu garis lurus dengan posisi elektroda AB dan MN yang simetris terhadap titik pusat pada kedua sisi yaitu konfigurasi Wenner dan Schlumberger. Setiap konfigurasi mempunyai metoda perhitungan tersendiri untuk mengetahui nilai ketebalan dan tahanan jenis batuan di bawah permukaan. Metoda geolistrik konfigurasi Schlumberger merupakan metoda favorit yang banyak digunakan untuk mengetahui karakteristik lapisan batuan bawah permukaan dengan biaya survei yang relatif murah.

Umumnya lapisan batuan tidak mempunyai sifat homogen sempurna, seperti yang dipersyaratkan pada pengukuran geolistrik. Untuk posisi lapisan batuan yang terletak dekat dengan permukaan tanah akan sangat berpengaruh terhadap hasil pengukuran tegangan dan ini akan membuat data geolistrik menjadi menyimpang dari nilai sebenarnya. Yang dapat mempengaruhi homogenitas lapisan batuan adalah fragmen batuan lain yang menyisip pada lapisan, faktor ketidak-seragaman dari pelapukan batuan induk, material yang terkandung pada jalan, genangan air setempat, perpipaan dari bahan logam yang bisa menghantar arus listrik, pagar kawat yang terhubung ke tanah dan sebagainya.

'Spontaneous Potential' yaitu tegangan listrik alami yang umumnya terdapat pada lapisan batuan disebabkan oleh adanya larutan penghantar yang secara kimiawi menimbulkan perbedaan tegangan pada mineral-mineral dari lapisan batuan yang berbeda juga akan menyebabkan ketidak-homogenan lapisan batuan. Perbedaan tegangan listrik ini umumnya relatif kecil, tetapi bila digunakan konfigurasi Schlumberger dengan jarak elektroda AB yang panjang dan jarak MN yang relatif pendek, maka ada kemungkinan tegangan listrik alami tersebut ikut menyumbang pada hasil pengukuran tegangan listrik pada elektroda MN, sehingga data yang terukur menjadi kurang benar.

Untuk mengatasi adanya tegangan listrik alami ini hendaknya sebelum dilakukan pengaliran arus listrik, multimeter diset pada tegangan listrik alami tersebut dan kedudukan awal dari multimeter dibuat menjadi nol. Dengan demikian alat ukur multimeter akan menunjukkan tegangan listrik yang benar-benar diakibatkan oleh pengiriman arus pada elektroda AB. Multimeter yang mempunyai fasilitas seperti ini hanya terdapat pada multimeter dengan akurasi tinggi (<http://ezraroelista.wordpress.com/2008/04/23/metode-geolistrik/>.)

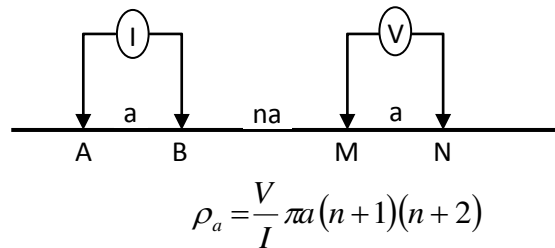
Adapun macam-macam konfigurasi tersebut adalah :

a. Konfigurasi Dipole

Konfigurasi Dipole pada prinsipnya menggunakan 4 buah elektroda yaitu pasangan elektroda arus (AB) yang disebut 'Current Dipole' dan pasangan elektroda potensial (MN) yang disebut 'Potential Dipole'. Pada konfigurasi Dipole elektroda arus dan elektroda potensial bisa terletak tidak segaris dan tidak simetris.

Untuk menambah kedalaman penetrasi maka jarak antara 'Current Dipole' dan 'Potential Dipole' diperpanjang, sedangkan jarak elektroda arus dan jarak elektroda tegangan tetap. Dan ini merupakan keunggulan konfigurasi Dipole dibandingkan konfigurasi Schlumberger maupun Wenner, karena tanpa memperpanjang kabel bisa mendeteksi batuan yang lebih dalam. Dalam hal ini diperlukan alat pengukur tegangan yang 'high impedance' dan 'high accuracy'.

Ada alat geolistrik merek tertentu yang bisa menggunakan multi ‘potensial elektrode’ untuk satu bentangan elektroda arus. Dan hasil bisa langsung tergambar pada layar monitor. Dalam hal ini yang tergambar adalah ‘apparent resistivity’ bukan ‘true resistivity’ serta mengabaikan persyaratan pengukuran geolistrik yaitu homogenitas batuan, karena dalam konfigurasi Dipole tidak ada fasilitas untuk membuat batuan tidak homogen menjadi seakan-akan homogen. Sedangkan pada konfigurasi Schlumberger bisa dibuat data yang diperoleh dari batuan yang tidak homogen menjadi seakan-akan homogen.

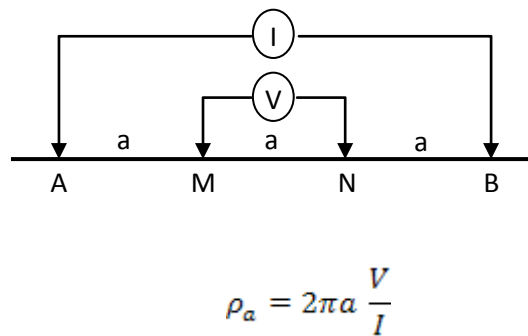


Gambar 2. Konfigurasi Dipole

b. Konfigurasi Wenner

Konfigurasi Wenner dikembangkan oleh Wenner di Amerika yang ke-empat buah elektroda-nya terletak dalam satu garis dan simetris terhadap titik tengah. Jarak MN pada konfigurasi Wenner selalu sepertiga (1/3) dari jarak AB. Bila jarak AB diperlebar, maka jarak MN juga harus diubah sehingga jarak MN tetap sepertiga jarak AB.

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.

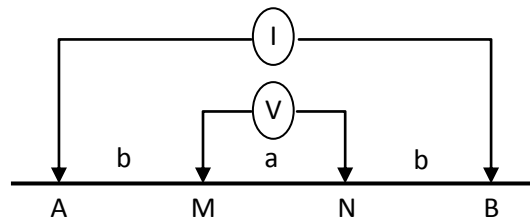


Gambar 3. Konfigurasi Wenner

c. Konfigurasi Schlumberger

Konfigurasi ini diambil dari nama Conrad Schlumberger yang merintis metode geolistrik pada tahun 1920-an. Adapun keunggulan dari 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 . Sedangkan kelemahannya adalah tidak bisa mendeteksi homogenitas batuan di dekat permukaan yang bisa berpengaruh terhadap hasil perhitungan, selain itu juga dalam 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 ([Http://ezraroelista.wordpress.com/2008/04/23/metode geolistrik.](http://ezraroelista.wordpress.com/2008/04/23/metode-geolistrik/)).



$$\rho_a = \frac{V}{I} \pi \frac{b(b+a)}{a} = \frac{V}{I} \pi \frac{b^2}{a} \text{ jika } a \ll b$$

Gambar 4. Konfigurasi Schlumberger

Potensial Dalam Medium Homogen Isotrop

Bila suatu medium homogen isotrop dialiri arus listrik dengan rapat arus J dalam ampere/m², maka menurut hukum Ohm terdapat hubungan,

$$\vec{J} = \sigma \vec{E} \tag{8}$$

E adalah medan listrik dalam volt/m dan σ adalah konduktivitas listrik medium dalam mhos/m. Medan listrik adalah gradien dari potensial skalar yang di tulis sebagai,

$$\vec{E} = -\nabla V \tag{9}$$

Dengan memasukan persamaan (9) ke persamaan (8) diperoleh,

$$\vec{J} = -\sigma \nabla V \tag{10}$$

Mengingat syarat batas, bahwa arus yang memasuki suatu luasan tertentu sama dengan arus yang meninggalkannya kecuali di tempat sumber arus dan dasar arus, maka,

$$\nabla \cdot \vec{J} = -\nabla \cdot (\sigma V) \tag{11}$$

Jika σ konstan maka elemen pertama persamaan (11) sama dengan nol sehingga diperoleh persamaan Laplace,

$$\nabla^2 V = 0$$

Dua syarat batas harus dipenuhi pada kontak antara dua medium yang berbeda konduktivitasnya, yaitu bahwa potensial harus kontinyu pada bidang batas dan bahwa komponen J juga harus kontinyu, maka,

$$V^{(1)} = V^{(2)}; \left(\frac{\partial V}{\partial X}\right)^{(1)} = \left(\frac{\partial V}{\partial X}\right)^{(2)}; \vec{J}_n^{(1)} = \vec{J}_n^{(2)} \tag{12}$$

Dalam bentuk medan listrik E maka,

$$\vec{E}_t^{(1)} = \vec{E}_t^{(2)}; \sigma_1 \vec{E}_n^{(1)} = \sigma_2 \vec{E}_n^{(2)} \tag{13}$$

Dengan t adalah komponen tangensial dan n adalah komponen normal.

Potensial oleh Elektroda Arus Tunggal di Dalam Medium Homogen Isotrop

Persamaan Laplace dalam koordinat bola adalah,

$$\nabla^2 V = \frac{d^2V}{dr^2} + \left(\frac{2}{r}\right) \frac{dV}{dr} = 0 \tag{14}$$

Persamaan (2.14) kalau dikalikan dengan r^2 , kemudian diintegrasikan maka diperoleh,

$$r^2 \frac{d^2V}{dr^2} + 2r \frac{dV}{dr} = 0 \tag{15}$$

$$\int \left(r^2 \frac{d^2V}{dr^2} + 2r \frac{dV}{dr} \right) dr = \int d \left(r^2 \frac{dV}{dr} \right) = 0$$

$$r^2 \frac{dV}{dr} = B$$

maka,

$$\frac{dV}{dr} = \frac{B}{r^2} \tag{16}$$

dan

$$V = -\frac{B}{r} + C$$

dengan B dan C adalah tetapan integrasi (konstanta).

Mengingat syarat batas (persamaan (12)), bila r mendekati tak hingga, maka $V=0$ dan diperoleh nilai $C=0$.

Dari hukum Ohm diperoleh hubungan bahwa arus yang mengalir ke luar permukaan bola adalah,

$$I = \vec{J}A \tag{17}$$

dengan,

$$\vec{J} = \sigma \vec{E} = \frac{1}{\rho} \vec{E} = -\frac{1}{\rho} \frac{dV}{dr} = -\frac{1}{\rho} \frac{B}{r^2}$$

$A = 4\pi r^2$ adalah luasan permukaan bola.

maka,

$$I = -4\pi r^2 \left[\frac{1}{\rho} \frac{B}{r^2} \right]$$

$$I = -\frac{4\pi B}{\rho} \tag{18}$$

Dari persamaan 2.18, diperoleh nilai konstanta B ,

$$B = -\frac{I\rho}{4\pi}$$

maka,

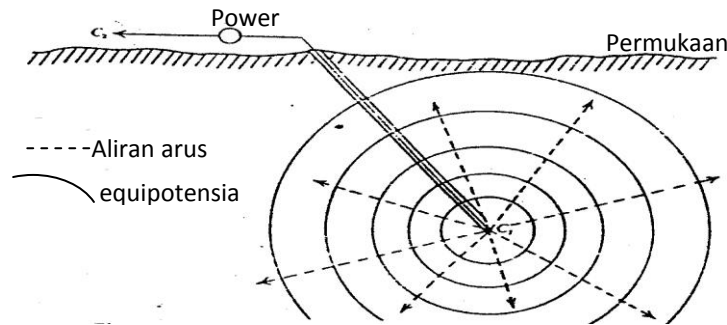
$$V = \left(\frac{I\rho}{4\pi} \right) \frac{1}{r} \tag{19}$$

dengan : V = Potensial listrik pada jarak r dari sumber arus titik (volt)

- I = Arus listrik (ampere)
- ρ = Resistivitas medium (Ωm)
- r = Jarak dari sumber arus titik (meter)

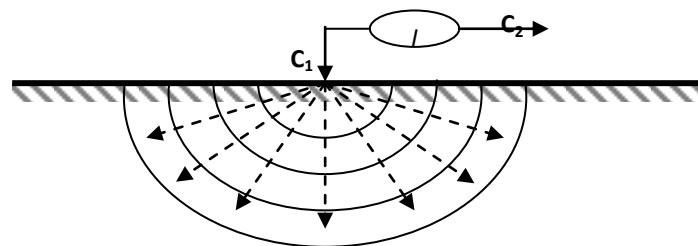
Persamaan (19) menyatakan nilai potensial V (volt) di dalam medium homogen isotrop berjarak r yang disebabkan oleh sumber arus titik.

Garis-garis ekuipotensial di setiap tempat akan bergerak tegak lurus terhadap aliran garis arusnya dan akan berbentuk bola. Bidang ekuipotensial yang tegak lurus arus dalam medium homogen isotrop dapat dilukiskan pada Gambar 5.



Gambar 2.5. Titik sumber arus yang tertanam dalam medium homogen (Telford, dkk., 1976)

Homogen Isotrop Setengah tak Berhingga



Gambar 6. Titik sumber arus tunggal di permukaan pada medium homogen Untuk pola arus seperti Gambar 6 akan berlaku hukum Ohm,

$$I = - \frac{AdV}{\rho dr} \tag{20}$$

Karena luas setengah bola $A= 2\pi r^2$, maka arus I menjadi,

$$I = - \frac{2\pi r^2 dV}{\rho dr} \text{ atau } dV = - \frac{\rho I dr}{2\pi r^2} \tag{21}$$

sehingga potensial di suatu titik sejauh r dari pusat arus adalah,

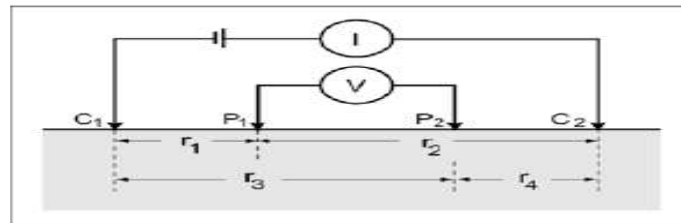
$$V = \int dV = \int_0^r - \frac{\rho I}{2\pi r^2} dr = \frac{I\rho}{2\pi r} \tag{22}$$

Luasan setengah bola dipergunakan dalam perhitungan ini karena untuk bumi yang homogen isotrop berarti tidak ada lapisan selain dari bidang batas antara tanah dan udara.

Udara mempunyai konduktivitas nol atau resistivitas tak terhingga, sehingga arus hanya akan mengalir kedalam bumi.

Potensial oleh elektroda arus ganda dipermukaan medium setengah tak berhingga

Konfigurasi elektroda untuk arus ganda dapat dilihat pada Gambar 7:



Gambar 7. Konfigurasi elektroda pengukuran resistivitas semu

dengan r_1 = Jarak elektroda arus (C_1) ke elektroda potensial (P_1)

r_2 = Jarak elektroda arus (C_2) ke elektroda potensial (P_1)

r_3 = Jarak elektroda arus (C_1) ke elektroda potensial (P_2)

r_4 = Jarak elektroda arus (C_2) ke elektroda potensial (P_2)

Karena potensial adalah besaran skalar, maka potensial di sembarang titik oleh elektroda arus ganda akan merupakan jumlahan potensial oleh 2 elektroda arus tunggal. Oleh karena itu, dengan menggunakan persamaan (22), potensial di titik P_1 oleh arus yang melewati elektroda C_1 dan C_2 (Gambar 7) adalah,

$$V_{P_1} = \frac{I\rho}{2\pi} \left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} \right) \tag{23}$$

Tanda negatif pada persamaan (23) disebabkan oleh arus yang harus berlawanan pada elektroda arus ganda. Potensial di titik P_2 adalah,

$$V_{P_2} = \frac{I\rho}{2\pi} \left(\frac{1}{r_3} - \frac{1}{r_4} \right) \tag{24}$$

Dengan demikian beda potensial antara titik P_1 dan P_2 adalah,

$$\Delta V = V_{P_1} - V_{P_2} = \frac{I\rho}{2\pi} \left\{ \left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} \right) - \left(\frac{1}{r_3} - \frac{1}{r_4} \right) \right\} \tag{25}$$

Persamaan (25) menunjukkan suatu nilai beda potensial dari sebuah medium dengan nilai resistivitas ρ yang seragam di seluruh medium, atau dengan kata lain mediumnya homogen.

Resistivitas Semu

Hasil pengukuran langsung di lapangan inilah yang dinamakan resistivitas semu (ρ_a), yang mana merupakan besaran rata-rata dari nilai-nilai resistivitas medium yang berbeda-beda tersebut. Dari persamaan (25), nilai resistivitas semunya dapat ditentukan sebesar,

$$\rho_a = \frac{2\pi\Delta V}{I} \frac{1}{\left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} \right) - \left(\frac{1}{r_3} - \frac{1}{r_4} \right)} \tag{26}$$

Dari persamaan (26) kelompok parameter yang berdimensi jarak dinotasikan sebagai K yang disebut sebagai faktor geometri,

$$K = \frac{2\pi}{\left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2}\right) - \left(\frac{1}{r_3} - \frac{1}{r_4}\right)} \tag{27}$$

K merupakan suatu tetapan, dan nilainya tergantung pada susunan elektroda yang digunakan dalam pengukuran. Dengan demikian persamaan (26) dapat ditulis menjadi,

$$\rho_a = K \frac{\Delta V}{I} \tag{28}$$

Dengan menggunakan konfigurasi elektroda tertentu, nilai K dapat ditentukan, beda tegangan dan arus yang dimasukkan ke dalam tanah dapat diukur, dengan demikian resistivitas semunya dapat dihitung.

Dengan mengubah jarak antar elektroda untuk kepentingan eksplorasi dapat diperoleh berbagai variasi nilai tahanan jenis terhadap kedalaman. Hasil pengukuran di lapangan sesudah dihitung nilai tahanan jenisnya merupakan fungsi dari konfigurasi elektroda dan berkaitan dengan kedalaman penetrasinya. Semakin panjang rentang antar elektroda, semakin dalam penetrasi arus yang diperoleh yang tentu juga sangat ditentukan oleh kuat arus yang dialirkan melalui elektroda arus (Santoso,2002).

Koefisien suhu hambatan listrik (α) untuk beberapa jenis konduktor dan resistivitas listriknya (α) dimuat pada tabel di bawah :

Table 1. Koefisien suhu hambatan listrik

Bahan	α ($^{\circ}\text{C}^{-1};\text{K}^{-1}$)	(Ohm-meter)
Aluminium	0,0039	$2,63 \times 10^{-8}$
Kuningan	0,0020	$7-8 \times 10^{-8}$
Konstantan	2×10^{-6}	$3,5 \times 10^{-8}$
Tembaga	0,00393	$1,72 \times 10^{-8}$
Manganin	0,00000	$4,4 \times 10^{-7}$
Nichrome	0,0004	10^{-6}
Perak	0,0038	$1,47 \times 10^{-8}$
Tungsten	0,0045	$5,51 \times 10^{-8}$

(Effendi, dkk.2007)

Batuan	Resistivitas (Ohm-meter)
Humus	50-100
Pasir	500-5000
Kerikil	100-600
Tanah liat	1-100
Batu pasir	200-8000
Batu gamping	500-10 000
Batu pengasah	500-200 000
Gabbro	100-500 000
Granit	200-100 000
Batu basal	200-100 000
Batu tulis seperti grafit	10-500
Kwarsit	500-800 000

(Milsom, 2003)

Tanah Tambang	Resistivitas (Ohm-meter)
Pyrite (Bijih)	0.01-100
Pyrrhotite	0.001-0.01
Khalkopirit	0.005- 0.1
Galena	0.001- 100
Sphalerite	1000-1 000 000
Magnetit	0.01-1000
Cassiterite	0.001-10 000
Oksid Besi	0.01-1 000 000

(Milsom, 2003)

METODE PENELITIAN

Waktu dan Lokasi Penelitian

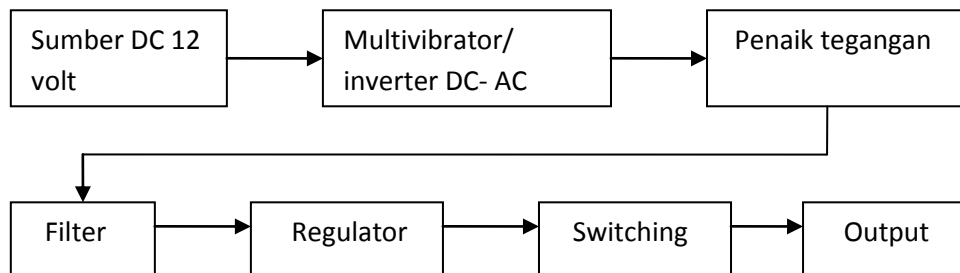
Penelitian ini dilaksanakan pada bulan Januari-Februari 2009. Adapun lokasi penelitian ini di Lapangan Joyo Utomo Malang dan pengolahan datanya dilaksanakan di Laboratorium Fisika Instrumentasi Jurusan Fisika UIN Malang.

Bahan dan Alat

Adapun bahan dan alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah:

1. Seperangkat UPS (berfungsi sebagai sumber daya)
2. Multimeter 3 buah , berfungsi sebagai pengukur arus dan tegangan
3. Elektroda 4 buah dari bahan stainless, dengan panjang masing-masing 25 cm
4. Konektor (Kabel penghubung) antar elektroda

PerancanganAlat



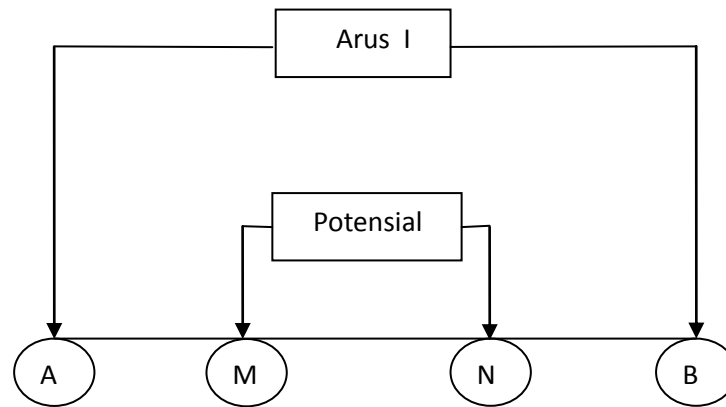
Gambar 8. Diagram blok rangkaian

Prinsip Kerja Alat

Alat ukur resistivitas tanah yang telah dibuat ini terdiri dari empat (4) komponen utama, yaitu: (1) seperangkat UPS yang berfungsi sebagai sumber daya, adapun di dalam UPS ini ada beberapa komponen penting diantaranya: *accu* 12 volt, DC – AC Inverter, filter, regulator, *Voltage Controlled Current Source*, switching. Dalam seperangkat UPS ini, arus dari sumber searah (DC) yaitu *accu* diubah menjadi arus bolak- balik (AC) oleh rangkaian DC-AC Inverter yang dilakukan oleh komponen di dalamnya, yaitu rangkaian multivibrator. Adapun maksud filter disini adalah sebagai penyearah saja, karena di dalam geolistrik hambatan jenis ini tidak diizinkan adanya pemakaian arus yang tinggi. Sedangkan regulator digunakan untuk mendapatkan catu daya yang hamper ideal, yang berfungsi agar tegangan tidak merosot tajam terhadap perubahan beban. *Voltage Controlled Current Source* digunakan agar catu daya berperilaku sebagai sumber arus konstan dengan nilai yang dapat diubah dalam skala penuh. (2) Multimeter, berfungsi sebagai pengukur arus dan tegangan. (3) Elektroda 4 buah yang terbuat dari bahan stainless, yang berfungsi sebagai bahan konduktor listrik, (4) Konektor (Kabel penghubung) antar elektroda. Jadi, ketika arus ini diinjeksikan kedalam tanah melalui elektroda- elektroda arus, maka tanggapan tegangan sebagai akibat dari injeksi arus, diukur dengan elektroda-elektroda potensial, yang keduanya akan terbaca/terukur oleh multimeter tersebut.

Prosedur Pengambilan Data

Skema dasar pengukuran resistivitas / hambatan jenis tanah dalam tanah pada dasarnya mengacu seperti yang terdapat pada gambar dibawah ini:



Gambar 9 Konfigurasi elektroda arus dan potensial

Pada metode geolistrik tahanan jenis dengan konfigurasi Wenner, arus listrik diinjeksikan ke dalam tanah melalui dua elektroda arus. Dengan adanya aliran arus listrik tersebut maka akan menimbulkan tegangan listrik di dalam tanah. Tegangan listrik yang terjadi di permukaan tanah diukur dengan menggunakan multimeter yang terhubung melalui 2 buah 'Elektroda Tegangan' M dan N yang jaraknya lebih pendek dari pada jarak elektroda AB. Bila posisi jarak elektroda AB diubah menjadi lebih besar maka tegangan listrik yang terjadi pada elektroda MN ikut berubah sesuai dengan informasi jenis batuan yang ikut terinjeksi arus listrik pada kedalaman yang lebih besar.

Kemudian beda potensial yang terjadi diukur melalui dua elektroda potensial. Dari hasil pengukuran arus dan beda potensial untuk setiap jarak elektroda yang berbeda kemudian dapat diturunkan variasi harga hambatan jenis masing-masing lapisan di bawah titik ukur (sounding point).

Analisa Data

Di dalam penelitian ini, digunakan konfigurasi Wenner, maka untuk menganalisa data digunakan rumusan sebagai berikut:

$$\rho_a = 2\pi a \frac{V}{I}$$

Dimana ρ_a = hambatan jenis tanah (Ωm)

a = jarak elektroda / konfigurasi (m)

V = tegangan yang di ukur (volt)

I = kuat arus (A)

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengujian Alat

Sebelum dilakukan penelitian langsung di lapangan, alat ukur resistivitas tanah ini terlebih dahulu dipastikan bahwa semua peralatan pendukung sudah beroperasi baik atau belum, dengan sebuah alat yang dinamakan tespen. Setelah di pastikan dapat beroperasi dengan baik, langkah selanjutnya akan dilakukan pengukuran data di lapangan.

Hasil Penelitian

Sebagaimana dijelaskan pada bab sebelumnya, bahwa penelitian ini akan digunakan metode resistivitas dengan konfigurasi wenner dengan panjang spasi elektroda sebagai berikut:

Tabel 2. Data Hasil Penelitian

a (m)	AB/2 (m)	I (A)	V(volt)	R(Ω)	ρ (Ωm)
0.5	0.75	1.04	196	188.46	591.77
	0.75	1.09	191	175.23	550.22
	0.75	1.11	190	171.17	537.43
1	1.5	1.04	192	184.62	1159.41
	1.5	1.05	191	181.90	1142.33
	1.5	1.06	192	181.13	1137.49
2	3	1.03	192	186.41	2341.31
	3	1.05	193	183.81	2308.65
	3	1.05	190	180.95	2272.73
3	4.5	1.03	189	183.49	3456.95
	4.5	1.05	190	180.95	3409.09
	4.5	1.01	190	188.12	3544.18
4	6	0.77	189	245.45	6165.70
	6	0.83	189	227.71	5720.01
	6	0.85	190	223.53	5615.07
5	7.5	1.11	190	171.17	5374.74
	7.5	1.14	190	166.67	5233.44
	7.5	1.14	188	164.91	5178.17
6	9	0.80	189	230.49	8684.86
	9	0.82	189	231.71	8730.83
	9	0.82	189	231.71	8730.83
7	10.5	0.80	189	236.25	10385.55
	10.5	0.81	189	233.33	10257.19
	10.5	0.81	188	232.10	10203.12

Dari tabel 3. Di atas dapat di hitung rata-ratanya sebagai berikut :

a (m)	AB/2 (m)	I (A)	V(volt)	R(Ω)	ρ (Ωm)
0.5	0.75	1.08	192.33	178.29	559.81
1	1	1.05	191.67	182.55	1146.41
2	3	1.04	191.67	183.72	2307.56
3	4.5	1.05	189.67	184.19	3470.07
4	6	0.82	189.33	232.23	5833.59
5	7.5	1.13	189.33	167.58	5262.12
6	9	0.81	189.00	232.41	8715.51
7	10.5	0.81	188.67	233.89	10281.95

PEMBAHASAN

Alat ukur resistivitas tanah yang telah dibuat ini terdiri dari empat (4) komponen utama, yaitu: (1) seperangkat UPS yang berfungsi sebagai sumber daya, adapun di dalam UPS ini ada beberapa komponen penting diantaranya: *accu* 12 volt, DC – AC Inverter, filter, regulator, *Voltage Controlled Current Source*, switching. Dalam seperangkat UPS ini, arus dari sumber searah (DC) yaitu *accu* diubah menjadi arus bolak-balik (AC) oleh rangkaian DC-AC Inverter yang dilakukan oleh komponen di dalamnya, yaitu rangkaian multivibrator. Adapun maksud filter disini adalah sebagai penyearah saja, karena di dalam geolistrik hambatan jenis ini tidak diizinkan adanya pemakaian arus yang tinggi. Sedangkan regulator digunakan untuk mendapatkan catu daya yang hamper ideal, yang berfungsi agar tegangan tidak merosot tajam terhadap perubahan beban. *Voltage Controlled Current Source* digunakan agar catu daya berperilaku sebagai sumber arus konstan dengan nilai yang dapat diubah dalam skala penuh. (2) Multimeter, berfungsi sebagai pengukur arus dan tegangan. (3) Elektroda 4 buah yang terbuat dari bahan stainless, yang berfungsi sebagai bahan konduktor listrik, (4) Konektor (Kabel penghubung) antar elektroda. Jadi, ketika arus ini diinjeksikan kedalam tanah melalui elektroda- elektroda arus, maka tanggapan tegangan sebagai akibat dari injeksi arus, diukur dengan elektroda-elektroda potensial, yang keduanya akan terbaca/terukur oleh multimeter tersebut.

Di dalam penelitian ini obyek yang dijadikan penelitian adalah di daerah Joyo Utomo, Malang. Adapun keadaan tanah ini adalah tanah kering, sehingga cocok untuk diteliti. Berdasarkan data yang diperoleh pada saat penelitian, diketahui bahwa untuk mencari resistivitasnya, jenis tanah sangat menentukan. Selain itu juga bentuk konfigurasinya. Berdasarkan data yang telah di dapat, diketahui bahwa tegangannya berbanding lurus dengan kuat arus, dan berbanding terbalik dengan hambatannya. Selain itu juga hambatan tanahnya berbanding lurus dengan resistivitasnya, hal ini sesuai dengan rumus untuk konfigurasi Wenner, yaitu :

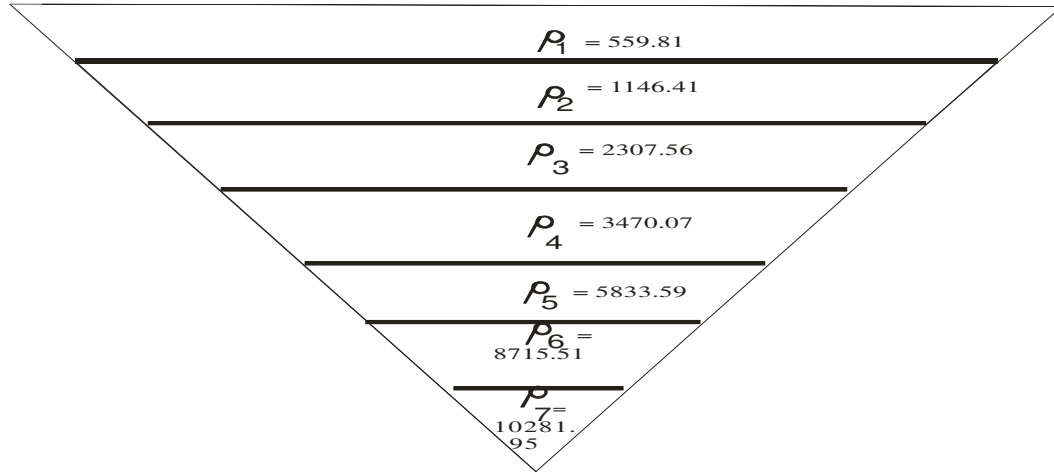
$$\rho_a = 2\pi a \frac{V}{I} \quad \text{di mana } \frac{V}{I} \text{ bisa diartikan sebagai R (hambatan) .}$$

Penelitian ini menggunakan konfigurasi Wenner dengan metode resistivitas sounding. Alasan peneliti menggunakan konfigurasi Wenner ini, karena 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 ([Http://ezraroelista.wordpress.com/2008/04/23/metode geolistrik](http://ezraroelista.wordpress.com/2008/04/23/metode_geolistrik)).

Untuk mengetahui kestabilan alat ukur resistivitas tanah ini, maka dilakukan pengukuran sebanyak 3 (kali) pengukuran. Berdasarkan data yang telah diperoleh dapat disimpulkan bahwa alat sudah stabil. Hal ini dibuktikan dengan adanya hasil nilai pembacaan V dan I pada 3 (tiga) kali pengukuran pada setiap titik mempunyai nilai yang hampir sama.

Berdasarkan data di atas, dapat diketahui bahwa sesuai dengan hasil pengukuran, nilai rata-rata resistivitas pada setiap titik pengukuran dapat disimpulkan bahwa ada 7 lapisan tanah, maksud dari nilai rata-rata resistivitas ini adalah bukan nilai rata-rata dari

setiap lapisan, akan tetapi nilai rata-rata dari setiap titik pengukuran, yang mana setiap titik ini dimungkinkan ada beberapa kandungan di dalamnya, seperti: pasir, mineral, dan aquifer. Dari asumsi inilah, maka di buat nilai rata-rata dari setiap titik pengukuran. Adapun sistem per lapisannya, dapat digambarkan sebagai berikut, dengan ρ satuannya adalah Ωm .



Gambar 10. Sistem per lapisan tanah

Dari gambar sistem per lapisan tanah di atas, dapat dijelaskan bahwa metode geolistrik resistivitas sounding dengan konfigurasi Wenner, arah variasi hambatan jenis buminya bisa dilihat secara vertikal, jika semakin panjang jarak elektrodanya, maka efek material yang lebih dalam akan tampak. Dari hasil penelitian, diperoleh kedalaman maksimal sebesar 10.5 meter dengan panjang konfigurasi elektroda AB sejauh 21 meter. Berdasarkan gambar tersebut, terlihat ada 7 per lapisannya, akan tetapi karena pada nilai ρ_4 dan ρ_5 nilainya hampir sama, yaitu: 5833.59 Ωm ; 5262.12 Ωm , maka bisa diasumsikan bahwa keduanya terdapat dalam satu lapisan, sehingga bisa disimpulkan ada 6 lapisan.

Ada beberapa keterbatasan alat ukur resistivitas tanah yang telah di buat yang dapat mempengaruhi proses penginjeksian arus diantaranya: jika pada saat pengukuran, tanah yang di ukur basah, maka arus yang terukur tidak stabil, dan jika tanahnya tidak asli (timbunan), maka arusnya tidak terdeteksi. Jadi, di dalam pengukuran resistivitas tanah ini, harus diperhatikan betul obyek yang akan diteliti.

Adapun spesifikasi alat ukur resistivitas tanah ini sebagai berikut:

1. Controlled AB voltage : 0-220 V
2. AB current max : 1.5 A
3. Injection time : 5-6 detik
4. Volt meter range : 0-700 V
5. Amper meter range : 0-10 A

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil perancangan dan pengujian alat secara keseluruhan, dapat disimpulkan sebagai berikut :

1. Alat ukur resistivitas tanah yang telah dibuat ini terdiri dari empat (4) komponen utama, yaitu: (1) seperangkat UPS yang berfungsi sebagai sumber daya, adapun di dalam UPS ini ada beberapa komponen penting diantaranya: *accu* 12 volt, DC – AC Inverter, filter, regulator, *Voltage Controlled Current Source*, switching. Dalam seperangkat UPS ini,

arus dari sumber searah (DC) yaitu *accu* diubah menjadi arus bolak-balik (AC) oleh rangkaian DC-AC Inverter yang dilakukan oleh komponen di dalamnya, yaitu rangkaian multivibrator. Adapun maksud filter disini adalah sebagai penyearah saja, karena di dalam geolistrik hambatan jenis ini tidak diizinkan adanya pemakaian arus yang tinggi. Sedangkan regulator digunakan untuk mendapatkan catu daya yang hamper ideal, yang berfungsi agar tegangan tidak merosot tajam terhadap perubahan beban. *Voltage Controlled Current Source* digunakan agar catu daya berperilaku sebagai sumber arus konstan dengan nilai yang dapat diubah dalam skala penuh. (2) Multimeter, berfungsi sebagai pengukur arus dan tegangan. (3) Elektroda 4 buah yang terbuat dari bahan stainless, yang berfungsi sebagai bahan konduktor listrik, (4) Konektor (Kabel penghubung) antar elektroda. Jadi, ketika arus ini diinjeksikan kedalam tanah melalui elektroda- elektroda arus, maka tanggapan tegangan sebagai akibat dari injeksi arus, diukur dengan elektroda-elektroda potensial, yang keduanya akan terbaca/terukur oleh multimeter tersebut. Dari hasil pengukuran arus dan beda potensial untuk setiap jarak tertentu, dapat ditentukan variasi harga hambatan jenis masing – masing lapisan titik ukur (titik sounding).

2. Dari hasil penelitian, diketahui bahwa nilai rata-rata resistivitas tanah pada setiap titik pengukuran untuk jarak elektroda 0.5 meter: 559.81 Ω m; 1 meter: 1146.41 Ω m; 2 meter: 2307.56; 3 meter: 3470.07 Ω m; 4 meter: 5833.59 Ω m; 5 meter: 5262.12 Ω m; 6 meter: 8715.51 Ω m; 7 meter: 10281.95 Ω m. Dari sini dapat ditarik sebuah kesimpulan, bahwasanya resistivitas (hambatan jenis) tiap jenis tanah berbeda, semakin panjang jarak elektrodanya, maka semakin dalam target pengukuran, dan resistivitasnya juga semakin besar. Dari hasil pengukuran data di lapangan yang dilakukan secara berulang (sebanyak tiga kali pengukuran) diketahui bahwa alat yang telah di buat sudah stabil, yang dibuktikan dengan nilai pembacaan V dan I pada 3 (tiga) kali pengukuran pada setiap titik mempunyai nilai yang hampir sama.
3. Berdasarkan data yang sesuai dengan hasil pengukuran, dapat diketahui bahwa nilai rata-rata resistivitas pada setiap titik pengukuran dapat disimpulkan ada 7 per lapisan tanah, maksud dari nilai rata-rata resistivitas ini adalah bukan nilai rata-rata dari setiap lapisan, akan tetapi nilai rata-rata dari setiap titik pengukuran, yang mana setiap titik ini dimungkinkan ada beberapa kandungan di dalamnya, seperti: pasir, mineral, dan akuifer. Dari asumsi inilah, maka di buat nilai rata-rata dari setiap titik pengukuran.

DAFTAR PUSTAKA

- Avisena N. dan Prasetyo A. 2007. *Lempung Menguak Rahasia Keagungan Allah*. Malang: UIN Malang Press
- Dobrin, Milton B. 1988. *Introduction to Geophysical Prospecting, 4th Edition*. Mc Graw Hill Book, Co. Singapore
- Halkias, Millman. 1985. *Elektronika Terpadu Rangkaian Sistem Analog dan Digital*. Jakarta : Erlangga
- Rahman, Afzalur . 1995. *Economic Doctrines of Islam*, alih bahasa Soeroyo: Yogyakarta: Bhakti Wakaf
- Effendi, Rustam, dkk. 2007. *Medan Elektromagnetika Terapan*. Jakarta : Erlangga
- Milsom, John. 2003. *Field Geophysics, The Geological Field Guide Series*. England : West Sussex P019 8SQ
- Malvino, 2003. *Prinsip – Prinsip Elektronika*. Jakarta : Salemba Teknika
- Malvino, Albert. 1996. *Prinsip – Prinsip Elektronika, Edisi Kedua*. Jakarta : Erlangga
- Barmawi, M. 1985. *Prinsip – Prinsip Elektronika*. Bandung : Erlangga

- Sheriff, R.E. 1986. *Prospecting Geophysical Method*. London : Cambridge University Press
- Santoso, Djoko. 2002. *Pengantar Teknik Geofisika*. Bandung : ITB
- Telford, W.N, Geldart. 1990. *Applied Geophysics, 2nd Edition*. London : Cambridge University Press
- Thokeim, Roger L. 1996. *Prinsip-Prinsip Digital*. Jakarta : Erlangga
- Tooley, Michael. 2002. *Rangkaian Elektronika*. Jakarta : Erlangga
- Woollard, Barry. 2006. *Elektronika Praktis*. Diterjemahkan oleh H. Kristono. Jakarta : Pradnya Paramita
- Http : // www. electusdistribution. com (20 Desember 2008)*