

KI 11-10-94

LAPORAN PENELITIAN

PENGUKURAN TAHANAN JENIS STRUKTUR BAWAH PERMUKAAN  
DENGAN METODA RESISTIVITY



MILIK PERPUSTAKAAN IKIP PADANG

NO. ANGEL

21-11-94

NO. HARGA

KKI

1456 (had/94. P.1671)

SS. 072 per. PO

Oleh :

Yulia Jamal

Penelitian ini dilaksanakan dalam rangka Program  
Pencangkakan/Magang Penelitian Dosen FPMIPA IKIP Padang  
Tahun 1993/1994 di Universitas Gajah Mada  
Yogyakarta

---

INSTITUT KEGURUAN DAN ILMU PENDIDIKAN

PADANG

1994

MILIK UPT PERPUSTAKAAN  
IKIP PADANG

PENGUKURAN TAHANAN JENIS STRUKTUR BAWAH PERMUKAAN  
DENGAN METODA RESISTIVITY

PERSONALIA PENELITIAN

Pembimbing : Drs. Waluyo Msc. Ph D

Peneliti : Dra. Yulia Jamal

## RINGKASAN

### PENGUKURAN TAHANAN JENIS BAWAH PERMUKAAN DENGAN METODA RESISTIVITY

Telah dilakukan penelitian untuk mengukur Tahanan Jenis Struktur Bawah Permukaan dengan menggunakan Metoda Resistivitas, salah satu metoda dalam Geolistrik, yang termasuk Eksplorasi Geofisika. Alat yang digunakan adalah Resistivimeter OYO - ES G1, milik Seksi Geofisika Universitas Gajah Mada. Dalam penelitian ini digunakan konfigurasi elektroda Schlumberger, yang diharapkan memberikan informasi tahanan jenis struktur bawah permukaan secara vertikal, dengan lokasi penelitian daerah Kaliurang, Sundi Kidul, Beji, Sekar Petak, dan daerah Tempel, semuanya di sekitar Yogyakarta.

Data yang diperoleh di lapangan diolah dan diinterpretasi dengan menggunakan "Curva Matching", yang dikembangkan oleh Koefoed. Dari hasil interpretasi diperoleh jumlah lapisan, tahanan jenis, tebal dan kedalaman masing-masing lapisan untuk tiap-tiap lokasi penelitian. Hasil interpretasi ini diharapkandapat dijadikan acuan bagi penelitian selanjutnya khususnya yang berhubungan dengan pencarian air tanah dan eksplorasi geotermal.

## KATA PENGANTAR

Puji Syukur penulis ucapkan ke hadirat Allah SWT, dengan selesainya penulisan laporan penelitian ini yang berjudul : " Pengukuran Tahanan Jenis Struktur Bawah Permukaan Dengan Metoda Resistivitas".

Penelitian ini dilaksanakan dalam rangka Program Pencangkakan Dosen FPMIPA IKIP Padang di Universitas Gajah Mada dari bulan Nopember 1993 sampai dengan bulan Januari 1994, dengan bantuan dana dari Proyek "Heds".

Dalam penelitian ini sejak dari awal hingga penyelesaian laporan penelitian ini, penulis banyak memperoleh bantuan dari berbagai pihak. Untuk itu semua penulis mengucapkan banyak terimakasih kepada :

1. Bapak Dr. Waluyo sebagai Pembimbing Utama.
2. Bapak Drs. Sudihartono sebagai Pendamping Pembimbing.
3. Bapak Dr. Kirbani Sri Brotopuspito MSc., sebagai Ketua Jurusan Fisika FMIPA UGM.
4. Bapak Dr. Kusminarto sebagai Sekretaris Jurusan Fisika UGM.
5. Bapak Drs. Suparwoto sebagai Kepala Laboratorium Geofisika UGM.
6. Bapak-bapak/Ibu-ibu Staf Pengajar Jurusan Fisika UGM, khususnya Seksi Geofisika.
7. Karyawan/karyawati Laboratorium /Perpustakaan / Staf Administrasi Jurusan Fisika FMIPA-UGM, khususnya seksi Geo-

fisika.

yang telah memberikan bantuan tenaga dan buah pikiran demi terlaksananya penelitian ini, semoga menjadi amal ibadah dan memperoleh imbalan dari Allah SWT.

Penulis menyadari sepenuhnya, bahwa tulisan ini jauh dari sempurna, oleh sebab itu kritik yang membangun sangat penulis harapkan demi perbaikan tulisan ini. Semoga tulisan ini ada manfaatnya.

Yogyakarta, Januari 1994

Penulis

## DAFTAR ISI

RINGKASAN .....	i
KATA PENGANTAR .....	ii
DAFTAR ISI.....	iv
<b>BAB I</b>	<b>PENDAHULUAN</b>
A. Latar Belakang Masalah .....	1
B. Maksud dan Tujuan Penelitian .....	3
C. Lokasi dan Waktu Penelitian .....	3
D. Metoda Penelitian.....	3
<b>BAB II</b>	<b>TINJAUAN KEPUSTAKAAN</b>
A. Sifat Kelistrikan Medium .....	7
B. Penyebaran Potensial Dalam Medium.....	10
C. Penyebaran Arus Dalam Medium .....	11
D. Resistivitas Semu .....	19
E. Konfigurasi Elektroda .....	22
F. Teori Dasar "Curva Matching".....	27
<b>BAB III</b>	<b>PELAKSANAAN PENELITIAN</b>
A. Peralatan Perlengkapan.....	39
B. Spesifikasi Alat.....	40
C. Metoda Pengambilan Data.....	43
D. Lokasi Pengambilan Data.....	43
<b>BAB IV</b>	<b>PENGOLAHAN DAN INTERPRRTASI DATA</b>
A. Pengolahan Data.....	44
B. Interpretasi Data.....	44

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

A. Kesimpulan

B. Saran

Daftar Pustaka

## BAB I PENDAHULUAN

### A. Latar Belakang Masalah

Akhir-akhir ini, dengan berkembang pesatnya pembangunan, terutama dikota-kota besar, menimbulkan dampak yang cukup serius bagi kerusakan lingkungan.

Sulitnya pengadaan air bersih merupakan salah satu dampak yang menimbulkan masalah bagi kehidupan umat manusia terutama di kota-kota besar dengan penduduk yang cukup padat. Oleh sebab itu banyak dilakukan pengeboran-pengeboran baik oleh penduduk secara perorangan, maupun oleh instansi pemerintah atau swasta.

Hal ini menimbulkan kerusakan yang tidak sedikit, karena pengeboran dilakukan secara sembarangan, tanpa perhitungan yang tepat dimana pengeboran harus dilakukan. Seringkali pengeboran harus dilakukan ulang pada posisi lain padahal tenaga dan biaya yang dikeluarkan tidak sedikit.

Disamping itu kedalaman pengeboran yang seharusnya dilakukan tidak diketahui, sehingga diperlukan puluhan meter pipa untuk menemukan air bersih yang diinginkan. Juga karena tidak diketahuinya struktur bawah permukaan di daerah pengeboran, sering kali terjadi lobang-lobang besar di bawah permukaan tanah yang tidak tampak dari luar. Ini semua tentu berakibat cukup fatal, sehingga mengancam kehidupan manusia di daerah itu.



Sebetulnya kesulitan air bersih itu tidak hanya di kota-kota besar, tetapi juga di daerah terpencil. Penduduk yang tinggal di daerah perbukitan, sulit memperoleh air, meskipun di kaki bukit itu ada danau atau aliran air sungai yang berasal dari bagian dalam perbukitan tersebut.

Semua masalah di atas dapat dihindari atau di atasi jika dilakukan survey bawah permukaan untuk mengetahui apakah di suatu daerah itu dapat diperoleh air bersih dan kalau ada dimana posisinya, atau pada kedalaman berapa.

Salah satu cara untuk melakukan survey air tanah ini adalah dengan menggunakan metoda geolistrik. Metoda ini sekarang sedang banyak digunakan, terutama untuk menduga alur sungai bawah tanah yang jelas tidak dapat dilihat dari permukaan.

Penggunaan metoda ini telah banyak membantu peng-adaan air bersih di kota-kota besar, maupun di daerah-daerah yang di kenal sulit diperoleh air bersih.

Metoda ini juga sering digunakan untuk eksplorasi geothermal, untuk memperoleh data tentang sumber-sumber panas bumi yang akan digunakan untuk kesejahteraan umat manusia.

Sebagai salah satu metoda dalam eksplorasi geofisi-ka metoda ini cukup efektif disamping metoda-metoda lain, untuk mengungkapkan apa yang tersembunyi dibawah permukaan tanah, dimana tersimpan sumber daya alam yang

keberadaannya sangat penting, untuk perkembangan peradaban manusia.

Tertarik dengan metoda ini, penulis ingin melakukan penelitian tentang struktur bawah permukaan, sekaligus memperoleh pengalaman praktis di samping melakukan studi literatur yang berhubungan dengan geolistrik ini.

#### **B. Maksud dan Tujuan Penelitian.**

Penelitian ini bertujuan untuk menentukan tahanan jenis struktur bawah permukaan dengan menggunakan metoda resistivitas yang merupakan salah satu metoda geolistrik. Hasil pengukuran diharapkan dapat menjadi acuan, bagi penelitian-penelitian lanjutan terutama yang berkaitan dengan struktur bawah permukaan.

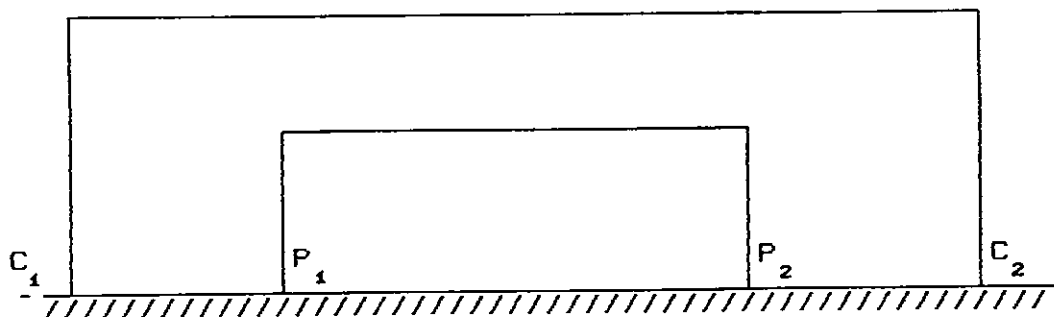
#### **C Lokasi dan waktu penelitian.**

Penelitian ini dilaksanakan dengan mengambil lokasi di beberapa desa yang ada di sekitar Yogyakarta, selama 3 bulan, mulai bulan Nopember 1993, sampai bulan Januari 1994, termasuk persiapan dan penulisan laporannya.

#### **D. Metode Penelitian.**

Untuk mencapai tujuan penelitian ini di gunakan "metoda resistivitas" atau disebut juga "metoda tahanan jenis" yang merupakan salah satu dari eksplorasi geolistrik.

Dalam metoda ini arus listrik DC atau AC frekuensi rendah, dimasukkan ke dalam tanah dengan menggunakan dua elektroda yang disebut elektroda arus. Beda potensial dapat diukur dengan dua elektroda yang disebut elektroda potensial sehingga praktis digunakan 4 elektroda yang disebut elektroda potensial sehingga praktis digunakan 4 elektroda. Secara umum susunan elektroda-elektroda tersebut dapat dilihat pada gambar 1-1.



Gambar 1-1. Elektroda arus C<sub>1</sub> dan C<sub>2</sub> serta elektroda potensial P<sub>1</sub> dan P<sub>2</sub>.

Dari angka yang ditunjukkan oleh elektroda-elektroda arus dan elektroda-elektroda potensial dapat ditentukan tahanan jenis tanah antara elektroda-elektroda tersebut dengan menggunakan hukum ohm. Dari harga tahanan jenis inilah kemudian dapat diramalkan konfigurasi geometris dari lapisan-lapisan tanah yang terdapat di antara elektroda-elektroda tersebut mulai dari jenis batuan, ketebalan lapisan sampai kedalaman tiap-tiap lapisan tersebut.

Perlu ditambahkan, bahwa meskipun pada dasarnya

metoda ini dapat dipakai untuk daerah yang batuanya mempunyai perbedaan resistivitas, namun karena kerumitan penyelesaiannya, maka metoda ini biasanya dibatasi penggunaannya pada struktur bawah tanah yang mempunyai lapisan-lapisan horisontal, misalnya pada struktur sedimen atau struktur lain yang geometrinya sederhana, misalnya bentuk bola, pipa dan lain sebagainya.

Ada dua tipe pengukuran terhadap tahanan jenis ini , yaitu :

1. Pemetaan (Resistivity Profiling/Resistivity mapping).

Dalam tipe ini elektroda arus dan elektroda potensial di pindah-pindah tanpa mengubah konfigurasi elektroda. Dalam tipe ini, hasil pengukuran akan memberikan informasi tahanan jenis ke arah lateral.

2. Pendugaan Tahan Jenis ( Resistivity Sounding ).

Dalam tipe ini, posisi ke 4 elektroda diubah-ubah terhadap suatu titik acuan, yang disebut titik duga. Dalam hal ini, hasil pengukuran akan memberikan informasi tentang tahanan jenis ke arah vertikal.

Sesuai dengan tujuan penelitian, digunakan cara yang kedua yaitu Resistivity Sounding, untuk mengetahui tahanan jenis struktur bawah permukaan ke arah vertikal.

Setelah parameter hasil pengukuran diperoleh yaitu kuat arus dan beda potensial, dihitung harga resistivitas semu untuk setiap titik ukur yang disesuaikan dengan susunan elektroda yang digunakan yaitu konfigurasi Schlumberger.

Selanjutnya resistivitas semu ini diplot di atas kertas grafik log-log, sehingga diperoleh grafik resistivitas semu sebagai fungsi jarak.

Dengan menggunakan curva matching, dilakukan interpretasi untuk menentukan jumlah lapisan, resistivitas, tebal dan kedalaman masing-masing lapisan. Dengan demikian diharapkan diperoleh tahanan jenis struktur bawah permukaan, sesuai dengan tujuan penelitian ini.

**BAB II**  
**TINJAUAN KEPUSTAKAAN**

**A. Sifat Kelistrikan Medium.**

Setiap medium pada dasarnya mempunyai sifat kelistrikan yang dapat menentukan mudah atau tidaknya medium tersebut dialiri oleh arus listrik. Telford pada tahun 1976, mengklasifikasikan sifat medium menjadi tiga bagian yaitu :

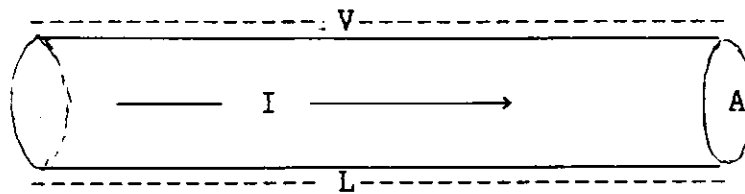
1. Medium konduktif, yang mudah dialiri arus listrik dengan resistivitas antara  $10^{-8}$  sampai 1 ohm.
2. Medium semi konduktif yang cukup mudah dialiri arus listrik dengan resistivitas antara 1 sampai  $10^7$  ohm.
3. Medium resistif yang sulit dialiri arus listrik dengan resistivitas lebih besar dari  $10^7$  ohm.

Bumi yang terdiri dari bermacam-macam batuan, merupakan suatu medium yang kompleks. Sifat kelistrikan dari medium ini sangat dipengaruhi oleh batuan penyusun dan komposisi batuanya, yang meliputi faktor-faktor homogenitas, kandungan mineral, kandungan air, porositas, permeabilitas, texture, suhu dan umur geologi batuanya.

Sifat-sifat kelistrikan yang dimiliki oleh berbagai medium, antara lain adalah potensial listrik, resistivitas dan dielektrikum. Untuk geolistrik yang paling berarti adalah besaran resistivitas yang diperoleh melalui pengukuran potensial dan kuat arus.

Untuk selanjutnya akan dibahas pengertian resistivitas yang dikaitkan dengan beda potensial dan kuat arus listrik di dalam suatu medium.

Misalkan suatu medium berbentuk silinder dengan luas penampang A dan panjang L, dialiri oleh arus listrik sebesar I, melalui beda potensial sebesar V, seperti diperlihatkan pada gambar 2-1



Gambar 2-1.

Menurut hukum Ohm, besarnya kuat arus I berbanding lurus dengan beda tegangan V dan luas penampang A dan berbanding terbalik dengan panjang L, yang secara matematis dapat dirumuskan sebagai berikut :

$$I \sim \frac{A}{L} V \quad \dots\dots\dots 2-1$$

Dalam bentuk lain, rumusan diatas dapat ditulis :

$$I = \sigma \frac{A}{L} V \quad \dots\dots\dots 2-2$$

dimana  $\sigma$  disebut konduktivitas listrik suatu medium atau koefisien daya hantar yang menunjukkan kemampuan medium tersebut untuk menghantarkan arus listrik.

Selanjutnya rumus diatas dapat pula ditulis

$$\frac{I}{A} = \sigma \frac{V}{L}$$

$\frac{I}{A}$  disebut rapat arus atau kuat arus persatuan luas, sedangkan  $\frac{V}{L}$  merupakan besarnya kuat medan yang ada di dalam medium, maka  $j$  atau rapat arus menjadi :

$$j = \sigma E \quad \dots\dots\dots 2-3$$

Rumusan diatas dikenal sebagai rumusan hukum Ohm yang dikaitkan kepada sifat benda sebagai konduktor atau penghantar.

Sebaliknya, jika dikaitkan kepada daya hambat benda yang berbanding terbalik dengan daya hantarnya, maka rumus 2-3 dapat ditulis :

$$I = \frac{A}{\rho L} V$$

atau  $I = \frac{V}{R} \quad \dots\dots\dots 2-4$

dimana  $\frac{A}{\rho L} = \frac{1}{R}$ , sehingga resistansi medium atau hambatannya adalah

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

$\rho$  disebut koefisien daya hambat atau dikenal juga dengan tahanan jenis (resistivity), yang menunjukkan kemampuan medium itu untuk menghambat aliran listrik.

Jika ditulis dalam bentuk diferensial, maka rapat arus yang mengalir melalui beda potensial sebesar  $dV$  dan



daerah sepanjang  $dL$  adalah :

$$j = - \frac{1}{\rho} \frac{dV}{dL} \dots\dots\dots 2-6$$

Untuk selanjutnya akan dicoba menggunakan rumus dasar diatas untuk melangkah lebih lanjut, ke arah tujuan pembahasan yaitu memperkenalkan metode resistivitas. Akan dibahas beberapa keadaan yang berkaitan dengan penyebaran arus dan penyebaran potensial di dalam suatu medium, yang dalam hal ini kita anggap merupakan permukaan tanah yang ingin kita ketahui resistivitasnya.

### B. Penyebaran Potensial Dalam Medium

Setiap arus yang mengalir dalam suatu medium, akan menimbulkan pola-pola garis ekuipotensial listrik tertentu, tergantung dari sifat medium dan jumlah sumber arus yang menimbulkannya. Berikut ini akan dibicarakan pola-pola garis ekuipotensial dan penyebarannya sebagai fungsi jarak baik yang ditimbulkan oleh sumber arus tunggal maupun arus ganda pada medium yang homogen, isotrop, dan yang berupa pelapisan datar.

#### 1. Potensial oleh sumber arus tunggal pada permukaan

Pada suatu medium homogen, dialirkan arus listrik  $I$  melalui elektroda  $C_1$ , sedangkan elektroda  $C_2$  yang berfungsi sebagai pengisap arus terletak di jauh tak berhingga, sehingga pengaruhnya dapat diabaikan.

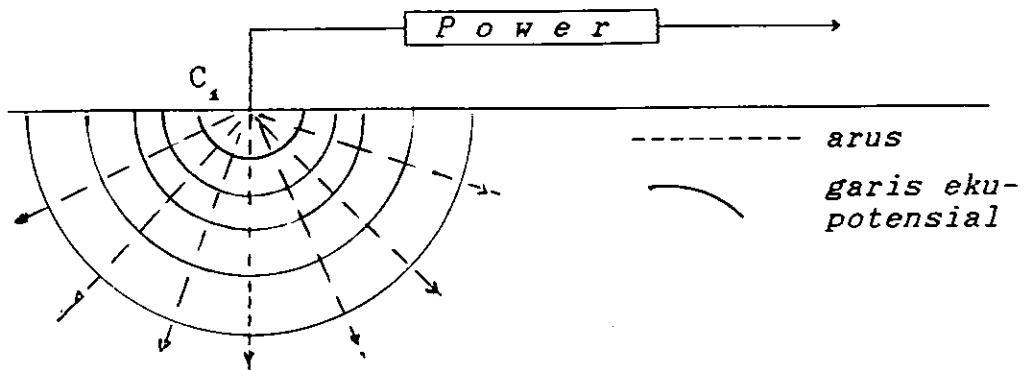
Dengan mengabaikan konduktivitas udara, dapat digambarkan pola-pola garis ekuipotensialnya yang berbentuk setengah bola, seperti diperlihatkan pada gambar (2-2)

Sesuai dengan persamaan (2-6), potensial merosot sepanjang  $r$ , maka rapat arus adalah :

$$j = \frac{I}{A} = - \frac{1}{\rho} \frac{dV}{dL}$$

atau

$$dV = \frac{\rho I}{A} dr$$



Gambar 2-2. Sumber arus tunggal dipermukaan homogen (Telford, 1976)

A dianggap merupakan luas permukaan lengkung setengah bola, jadi  $A = 2 \pi r^2$ , maka :

Penyelesaian persamaan di atas, menghasilkan :

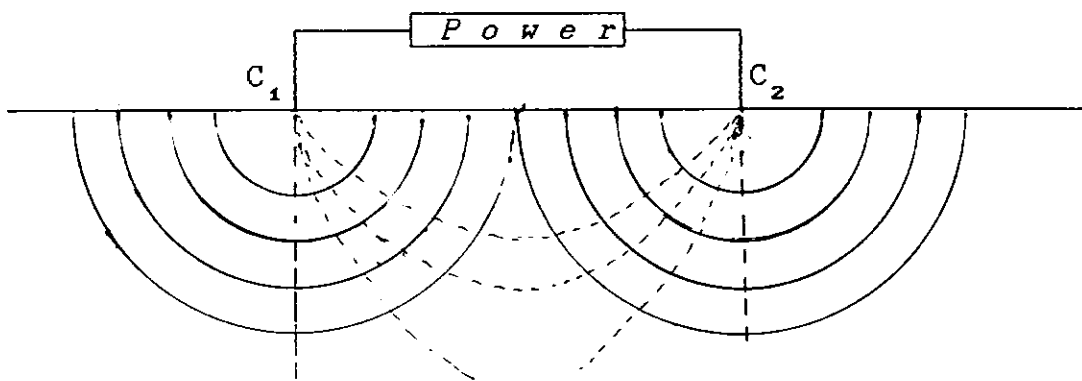
$$V : \frac{I\rho}{2\pi r} \dots\dots\dots 2-7$$

Persamaan diatas, dapat digunakan untuk menentukan

distribusi potensial di suatu titik yang disebabkan oleh arus tunggal.

2. Potensial oleh sumber arus ganda di permukaan.

Bila jarak antara sumber arus  $C_1$  dan pengisap arus  $C_2$  cukup dekat, maka pengaruh medan potensial dari  $C_2$  dapat dirasakan dalam pengukuran. Pola-pola garis ekuipotensialnya dapat dilukiskan pada gambar 2-3.



Gambar 2-3. Sumber arus ganda dipermukaan (Telford, 1976)

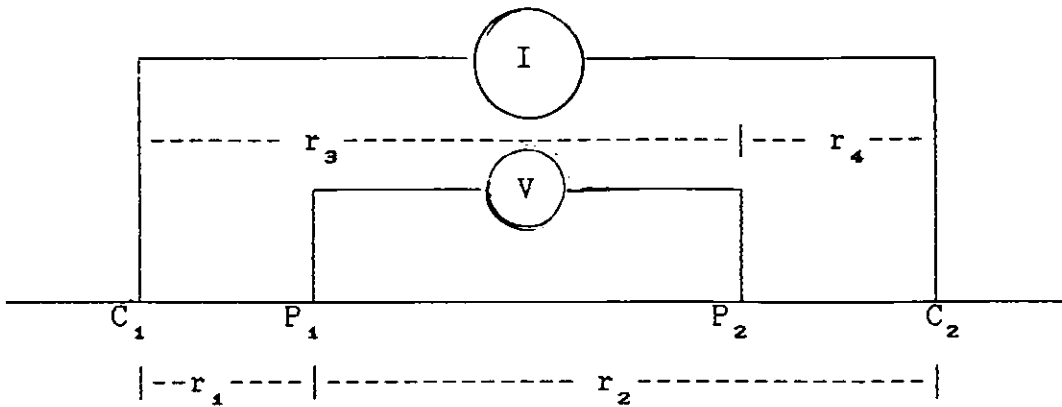
Untuk menghitung beda potensial antara dua titik yang ada di antara  $C_1$  dan  $C_2$ , dapat digunakan gambar 2-4.

Titik  $P_1$  dipengaruhi oleh  $C_1$  yang berjarak  $r_1$  dan  $C_2$  dengan jarak  $r_2$  dari  $P_1$ . Potensial dititik  $P_1$  adalah:

$$V_1 = \frac{I\rho}{2\pi} \left( \frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} \right) \dots\dots\dots 2-8$$

sedangkan di titik  $P_2$  yang berjarak  $r_3$  dari  $C_1$  atau  $r_4$

dari  $C_2$ , potensialnya adalah :



Gambar 2-4. Elektroda arus dan elektroda potensial permukaan homogen isotrop

$$V_2 = \frac{I\rho}{2\pi} \left( \frac{1}{r_3} - \frac{1}{r_4} \right) \dots\dots\dots 2-9$$

Dari kedua persamaan diatas diperoleh beda potensial antara titik  $P_1$  dan  $P_2$  :

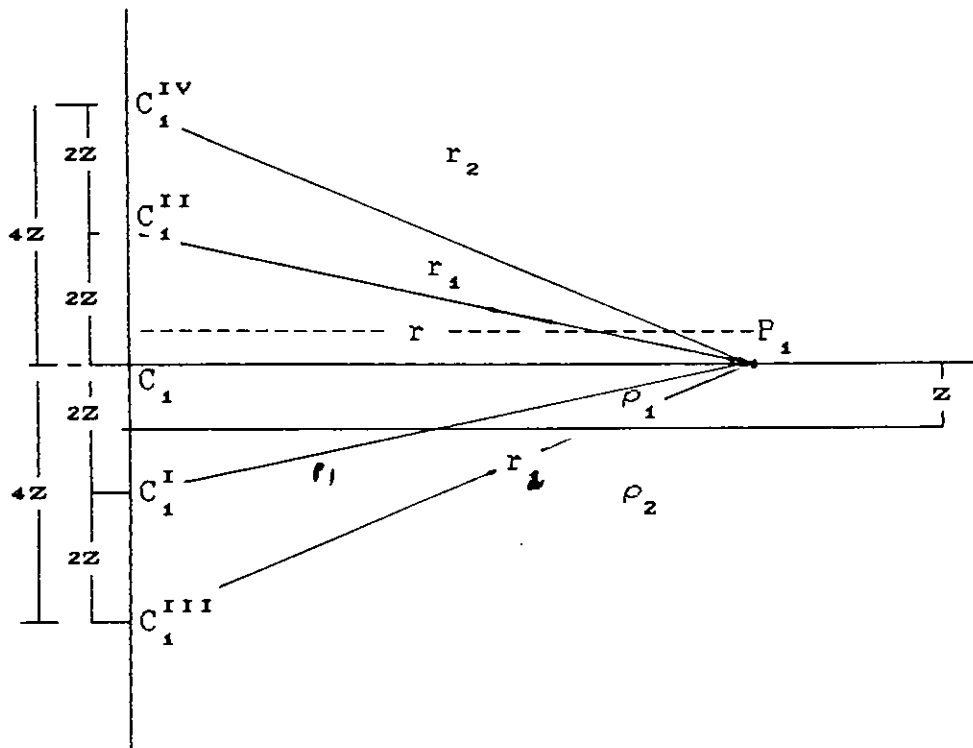
$$\Delta V = V_1 - V_2 = \frac{I\rho}{2\pi} \left\{ \left( \frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} \right) - \left( \frac{1}{r_3} - \frac{1}{r_4} \right) \right\} \dots\dots\dots 2-10$$

Persamaan diatas dapat digunakan untuk mengukur beda potensial pada dua elektroda yang disebabkan oleh arus ganda dipermukaan tanah.

**3. Potensial permukaan pada perlapisan datar.**

Jika sumbu arus  $C_1$  dan titik potensial  $P_1$  ada pada

permukaan suatu pelapisan datar yang homogen dan isotrop dengan resistivitas  $\rho_1$  dan  $\rho_2$  yang dipisahkan oleh suatu bidang batas sedalam  $Z$ , maka bidang batas akan bertindak sebagai cermin (Telford, 1976) seperti ditunjukkan oleh gambar 2-5.



Gambar 2-5. Potensial pada pelapisan datar (Telford, 1976).

Potensial di titik  $P_1$  akan disumbangkan oleh potensial di  $C_1$  sejauh  $r$  dan bayangan  $C_1^I$  sejauh  $r_1$  dengan kedalaman  $2Z$  akibat pencerminan dari bidang batas 2, yaitu :

$$V^I = \frac{I\rho}{2\pi} \left( \frac{1}{r} - \frac{k}{r_1} \right)$$

dimana  $k$  adalah koefisien refleksi bidang batas 2, dan efek bayangan ke 2 oleh bidang batas 1 diatas permukaan adalah :

$$V^{II} = \frac{I\rho_1}{2\pi} ( k \times k_a ) / r_1$$

dimana  $k_a$  adalah koefisien refleksi bidang batas 1, sehingga potensialnya adalah :

$$V^I + V^{II} = \frac{I\rho_1}{2\pi} ( k \times 2k_a / r )$$

Potensial yang disebabkan oleh bayangan ketiga  $C_1^{III}$ ,  $4z$  di bawah permukaan selanjutnya akan berkurang, demikian pula  $C_1^{IV}$ , sesuai dengan bertambah jaraknya  $r$ , maka :

$$\begin{aligned} V_1^{III} + V_1^{IV} &= \frac{I\rho_1}{2\pi} \left[ \frac{k \times k}{r^2} + \frac{k \times k \times k_a}{r^2} \right] \\ &= \frac{I\rho_1}{2\pi} ( 2k^2 / r_1 ) \end{aligned}$$

Demikian seterusnya untuk bayangan ke empat, lima .... ke  $m$ , sehingga potensial total sering dinyatakan dalam bentuk deret.

$$V = \frac{I\rho}{2\pi} \left( \frac{1}{r_1} + 2k/r_1 + 2k^2/r_1^2 + \dots + 2k^m/r_m \right)$$

dimana :

$$\begin{aligned} r_1 &= ( r^2 + ( 2z )^{1/2} ) \\ r_2 &= ( r^2 + ( 4z )^{1/2} ) \\ r_m &= ( r^2 + ( 2mz )^2 )^{1/2} \end{aligned}$$

Deret ini dapat ditulis dalam bentuk padat :

$$V = \frac{I\rho_1}{2\pi} \left[ 1 + 2 \sum_{m=1}^{\infty} \frac{k^m}{\{1 + (2mz/r)^2\}^{1/2}} \right] \dots 2-11$$

Deret ini konvergen, karena k bernilai < 1.

### C. Penyebaran Arus Dalam Medium

Bila arus listrik mengalir di dalam medium antara 2 elektroda  $C_1$  dan  $C_2$ , maka rapat arus yang melalui titik P, yang berjarak  $r_1$  dan  $r_2$  berturut-turut dari  $C_1$  dan  $C_2$ , dapat dihitung dengan cara berikut (Telford, 1976). Menurut hukum Ohm, rapat arus  $j_x$ , yang melalui titik  $\rho$  adalah :

$$j_x = \sigma E_x = - \frac{dV}{\rho dx}$$

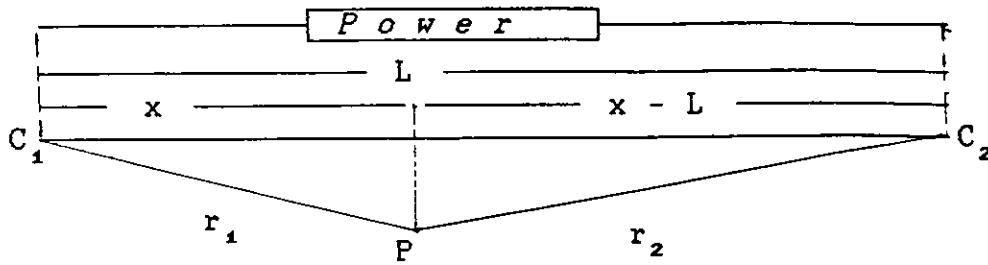
sedangkan potensial yang ditimbulkan oleh sumber arus adalah :

$$V = - \frac{I\rho}{2\pi} \left( \frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} \right)$$

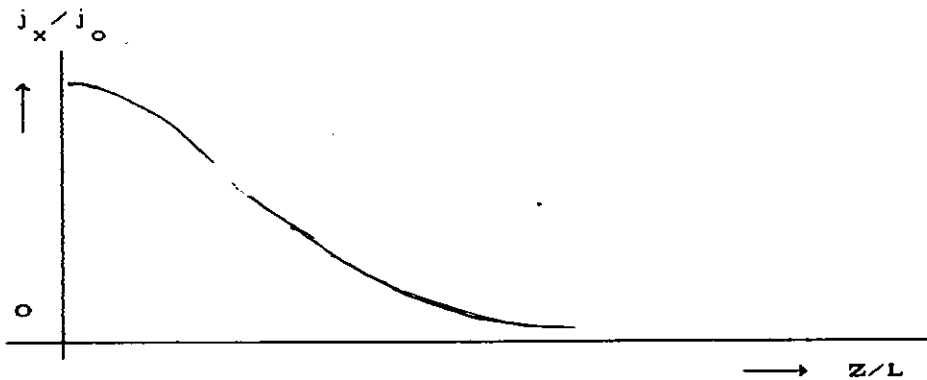
sehingga :

$$j_x = \frac{I L}{2\pi (Z^2 - L^2/2)^{3/2}} \dots\dots\dots 2-12$$

Persamaan diatas, menggambarkan rapat arus yang menjalar pada kedalaman Z, dengan jarak elektroda sepanjang L. Hal ini dapat dilukiskan dalam bentuk grafik yang melukiskan penjalaran arus terhadap Z.



Gambar 2-6.



Gambar 2-7. Grafik penjalaran arus terhadap kedalaman (Telford, 1976)

Dari grafik tersebut harga  $j_0$  adalah nilai  $j_x$  untuk  $Z=0$ , yaitu :

$$j_0 = \frac{4I}{\pi L^2}$$

Jika rentangan elektroda divariasasi, akan diperoleh rapat arus maksimum pada jarak rentang  $L = (2z)^{1/2}$ . Untuk suatu bidang vertikal yang kedalamannya terbatas antara  $z_1$ , maka arus yang akan melalui elemen seluas  $dy dz$  pada bidang tersebut adalah :

$$\Delta I_x = j_x dy dz$$



$$= \frac{1}{2\pi} \frac{L \, dy \, dz}{\{(L/2)^2 + y^2 + z^2\}^{3/2}}$$

sehingga arus total yang melalui elemen bidang sepanjang  $z_1 - z_2$  adalah

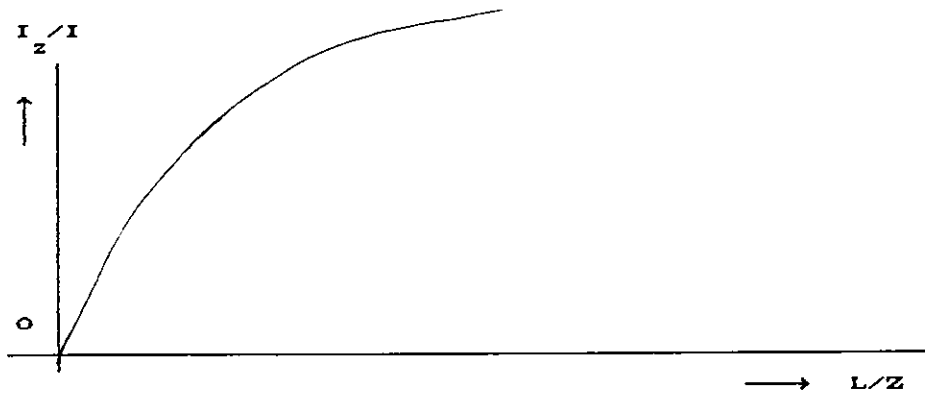
$$\frac{I_x}{I} = \frac{1}{2\pi} \int_{z_1}^{z_2} dz \int_{-\infty}^{\infty} \frac{1}{\{(L/2)^2 + y^2 + z^2\}^{3/2}} dy$$

$$\frac{I_x}{I} = \frac{2}{\pi} \left\{ \tan^{-1} (2z_2/L) - \tan^{-1} (2z_1/L) \right\}$$

Jika  $z_2$  tak berhingga, maka persamaan diatas menjadi :

$$\frac{I_x}{I} = 1 - 2\pi (\tan^{-1} 2z_1/L) \quad \dots\dots\dots 2-13$$

Persamaan ini menunjukkan perbandingan arus yang menembus bidang vertikal pada kedalaman  $z_1$ , yang dapat dilukiskan dengan grafik pada gambar 2-7.



Gambar 2.7. Grafik fraksi arus pad kedalaman tertentu (Telford, 1967)

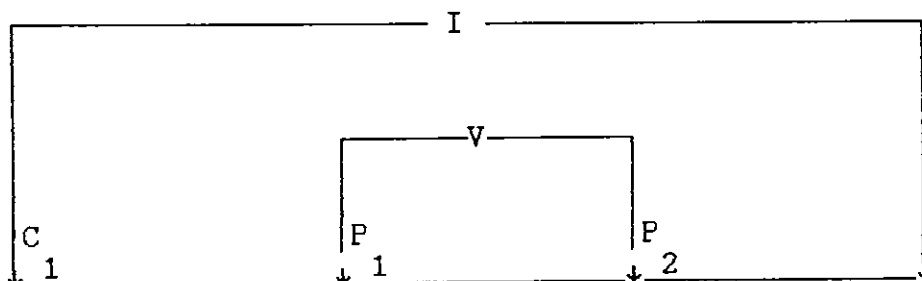
Dari grafik diatas dapat ditunjukkan fraksi arus yang masuk pada kedalaman  $z_1$ , untuk elektroda berjarak L.

Apabila rentangan  $L$  dibuat sama dengan  $2Z$ , maka akan diperoleh bagian arus yang menerobos pada kedalaman  $Z=Z_1$ , sebesar setengah dari arus total, sedangkan setengah lainnya, akan mengalir di bagian atas.

#### D. Resistivitas Semu

Sebagaimana diketahui, metode resistivitas ditujukan untuk menghitung tahanan jenis atau resistivitas suatu daerah baik secara lateral maupun vertikal.

Dalam metode ini arus listrik DC atau AC frekuensi rendah, dimasukkan kedalam tanah dengan menggunakan dua elektroda arus, sedangkan potensialnya diukur dengan dua elektroda yang disebut elektroda potensial. Secara umum, metode ini dapat dilihat pada gambar 2-8.



Gambar 2-8. Pola umum susunan elektroda

Jika elektroda arus  $C_1$  dan  $C_2$ , berjarak  $r_1$  dan  $r_2$  berturut-turut dari  $P_1$ , maka besarnya potensial di  $P_1$  adalah :

$$V_1 = \frac{\rho I}{2\pi} \left( \frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} \right)$$

sedangkan potensial di  $P_2$  adalah :

$$V_2 = \frac{\rho I}{2\pi} \left( \frac{1}{r_3} - \frac{1}{r_4} \right)$$

dimana  $r_3$  dan  $r_4$  adalah berturut-turut jarak  $C_1$  dan  $C_2$  terhadap  $P_2$ .

Beda potensial antara  $P_1$  dan  $P_2$  adalah :

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

Tahanan jenis  $\rho$ , dapat ditentukan yakni :

$$\rho = \frac{2 \pi \Delta V}{I} \left\{ \frac{1}{\left( \frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} \right) - \left( \frac{1}{r_3} - \frac{1}{r_4} \right)} \right\} \quad \dots 2-14$$

selanjutnya harga :

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

merupakan suatu tetapan yang biasa disimbulkan dengan  $K$ , yang harganya tergantung pada susunan elektroda yang digunakan dalam pengukuran. Jadi :

$$K = \frac{2\pi}{\left( \frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} \right) - \left( \frac{1}{r_3} - \frac{1}{r_4} \right)} \quad \dots 2-15$$

Tetapan ini berubah dengan adanya perubahan jarak pisah antara elektroda-elektroda, oleh sebab itu disebut faktor geometri dari susunan elektroda.

Selanjutnya persamaan (2-14) diatas dapat ditulis :

$$\rho = K \frac{\Delta V}{I} \dots\dots\dots 2-16$$

Formula ini merupakan rumus yang dipakai untuk menentukan tahanan jenis dari suatu medium. Bila mediumnya homogen, persamaan di atas akan memberikan harga tahanan jenis sebenarnya (true resistivity) dari medium tersebut. Meskipun konfigurasi elektroda dirubah-rubah, maka perbandingan  $\Delta V/I$  juga akan berubah, sehingga akan dihasilkan harga tahanan jenis yang sama, karena mediumnya homogen.

Tetapi pada daerah yang tidak homogen, harga  $\rho$  yang diperoleh dari persamaan diatas, disebut tahanan jenis semu (Apparent Resistivity), yang biasa dinotasikan dengan  $\rho_a$ , sehingga persamaan 2-16 dapat ditulis :

$$\rho_a = K \frac{\Delta V}{I} \dots\dots\dots 2-17$$

Dengan menggunakan susunan elektroda tertentu, harga K dapat diketahui, beda potensial dan arus dapat diukur, sehingga tahanan jenis semu dan sesungguhnya dapat ditentukan.

Dengan demikian dapat diramalkan atau diperkirakan

struktur geometris daerah-daerah pengamatan yang ingin diselidiki.

#### **E. Konfigurasi Elektroda**

Banyak cara yang digunakan untuk menyusun elektroda yang digunakan untuk mengukur tahanan jenis bumi, namun pada dasarnya dapat dibagi menjadi tiga kelompok.

1. Susunan elektroda dimana yang diukur adalah beda potensial antara dua elektroda yang terpisah jauh satu sama lain.
2. Susunan elektroda dimana yang diukur adalah gradient potensial atau intensitas medan listrik, dengan menggunakan potensial yang berdekatan.
3. Susunan elektroda "Curvature" dari fungsi potensial yang diukur, yaitu dengan menggunakan sepasang elektroda arus yang berdekatan dan sepasang elektroda potensial yang berdekatan pula.

Semua susunan elektroda di atas, dapat digunakan untuk mempelajari variasi tahanan jenis, baik terhadap kedalaman atau vertikal, maupun secara lateral atau horisontal.

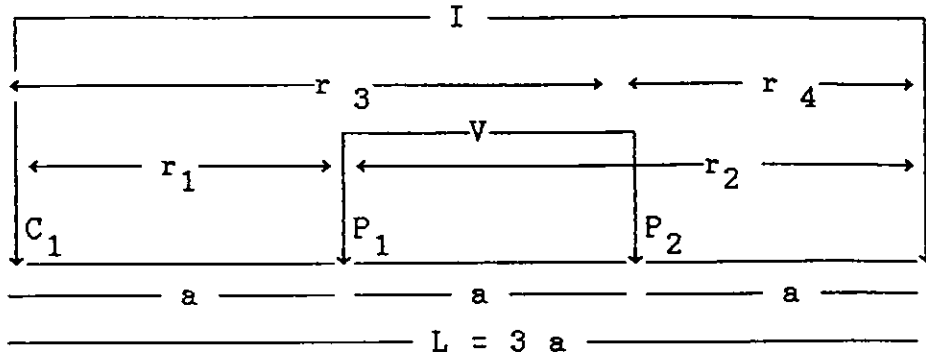
Untuk selanjutnya akan dibahas satu per satu tentang susunan elektroda-elektroda yang digunakan untuk metode resistivitas ini :

##### **1. Konfigurasi Wenner**

Susunan elektroda arus  $C_1$  dan  $C_2$  serta elektroda

potensial  $P_1$  dan  $P_2$ , yang dirancang oleh Wenner, dapat diperlihatkan pada gambar 2-9.

Faktor geometri dari konfigurasi ini adalah



Gambar 2.9. Konfigurasi elektroda menurut Wenner

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

karena  $r_1 = a$ ;  $r_2 = 2a$ ;  $r_3 = 2a$  dan  $r_4 = a$ ;

maka :

$$K = \frac{2\pi}{\left(\frac{1}{a} - \frac{1}{2a}\right) - \left(\frac{1}{2a} - \frac{1}{a}\right)}$$

$$K = 2 \pi a \dots\dots\dots 2-18$$

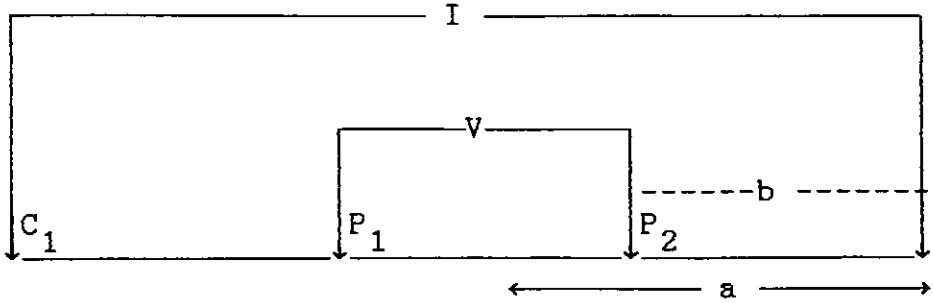
Jadi resistivitas semu menurut konfigurasi Wenner ini dapat ditulis sebagai berikut :

$$\rho_a = 2 \pi a \frac{\Delta V}{I} \dots\dots\dots 2-19$$

## 2. Konfigurasi Schlumberger

Dalam metode ini, jarak antara elektroda potensial

$P_1$  dan  $P_2$  jauh lebih kecil dari jarak antara elektroda-elektroda arus  $C_1$  dan  $C_2$ . Konfigurasi ini dapat dilihat pada gambar 2-10.



Gambar 2-10. Konfigurasi elektroda menurut Schlumberger

Faktor geometri dari konfigurasi Schlumberger ini dapat ditentukan sebagai berikut :

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

dimana :  $r_1 = a-b$ ;  $r_2 = a + b$ ;  
 $r_3 = a + b$ ;  $r_4 = a - b$ ;

sedangkan :

- a : Jarak antara elektroda arus ke pusat susunan elektroda
- b : Jarak antara elektroda potensial ke pusat susunan elektroda.

Dengan demikian diperoleh :

$$K_s = \frac{\pi (a^2 - b^2)}{2 b} \dots\dots\dots 2-20$$

Akhirnya diperoleh resistivitas semu menurut susunan ini,

MILIK UPT PERPUSTAKAAN  
 IKIP. PADANG

sedangkan potensial di  $P_2$  adalah :

$$V_2 = \frac{I\rho_a}{2\pi} \left( \frac{1}{r_2} - \frac{1}{r_4} \right)$$

karena  $r_4 = \dots$ , maka :

$$V_2 = \frac{I\rho_a}{2\pi r_2}$$

sehingga beda potensial pada kedua elektroda potensial adalah :

$$V_1 - V_2 = \frac{I\rho_a}{2\pi} \left( \frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} \right)$$

atau

$$\rho_a = 2\pi \frac{\Delta V}{I} \left\{ \frac{1}{1/r_1 - 1/r_2} \right\} \dots\dots\dots 2-22$$

Rumus diatas digunakan untuk menentukan tahanan jenis semu melalui konfigurasi elektroda dengan metode mise-ala masse. Faktor geometri dari konfigurasi ini adalah :

$$K = \frac{2\pi}{\left( \frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} \right)} \dots\dots\dots 2-23$$

#### 4. Konfigurasi Elektroda Lee

Bentuk lain dari konfigurasi elektroda adalah susunan Lee, diperlihatkan pada gambar 2-12.

Pada susunan ini, ditambahkan satu elektroda untuk mengetahui berapa beda potensial antara  $P_1$  dan pusat susunan elektroda O. Faktor geometri dari susunan ini adalah :



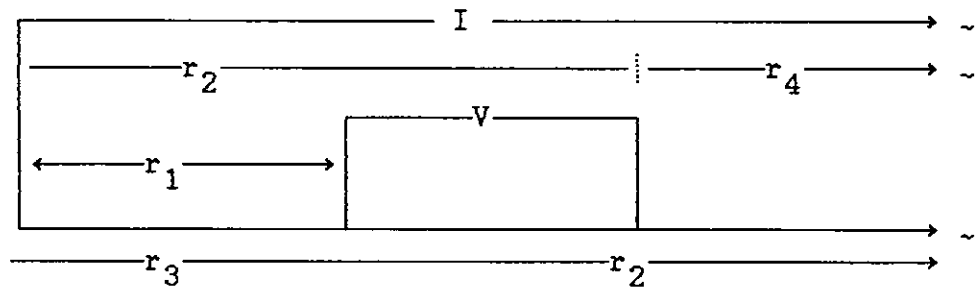
yaitu :

$$\rho_a = \frac{\pi (a^2 - b^2)}{2 b} \frac{\Delta V}{I} \dots\dots\dots 2-21$$

Metoda Schlumberger ini digunakan untuk eksplorasi vertikal, bisa dilaksanakan dengan mudah dan praktis dengan kesalahan pengukuran jarak elektroda yang relatif kecil.

### 3. Konfigurasi Mise-ala Masse

Dalam metode ini salah satu elektroda arus dimasukkan ke dalam bumi, menyentuh tubuh mineral yang bersifat konduktor, misalnya melalui singkapan. Elektroda lainnya terletak jauh diluar daerah penyelidikan. Konfigurasi elektroda ini diperlihatkan pada gambar 2-11.



Gambar 2-11. Konfigurasi mise-ala masse

Potensial di  $P_1$  adalah :

$$V_1 = \frac{I\rho_a}{2\pi} \left( \frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_3} \right)$$

karena  $r_3 = \infty$  , maka :

$$V_1 = \frac{I\rho_a}{2\pi r_1}$$

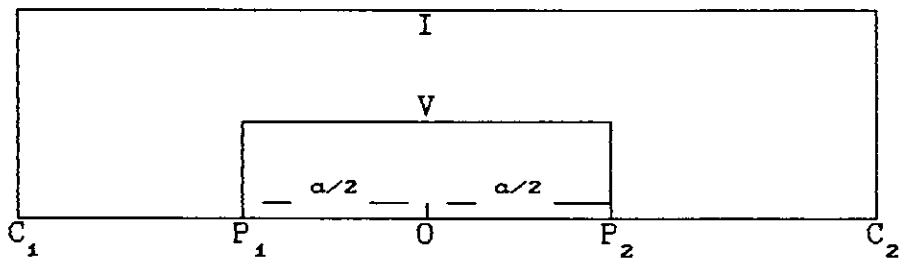
Pada susunan ini, ditambahkan satu elektroda untuk mengetahui berapa beda potensial antara  $P_1$  dan pusat susunan elektroda  $O$ . Faktor geometri dari susunan ini adalah :

$$K_L = \frac{1}{\left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2}\right) + \left(\frac{1}{r_3} - \frac{1}{r_4}\right)}$$

$$= \frac{1}{\left(\frac{1}{a} - \frac{1}{2a}\right) - \left(\frac{1}{3/2a} - \frac{1}{3/2a}\right)}$$

$$K_L = 2a \quad \dots\dots\dots 2-24$$

Jika tidak ada perubahan resistansi lateral, beda potensial antara  $P_1O$  dan  $OP_2$  sama besar, dengan demikian tahanan jenis medium dapat ditentukan.



Gambar 2-12. Konfigurasi Elektroda Lee

**F. Teori Dasar "Curva Matching"**

Dari pembahasan tentang penyebaran arus, dapat diketahui bahwa arus listrik yang disalurkan lewat elektroda arus, akan menyebar sampai ke kedalaman separoh dari jarak rentangan elektroda. Akibatnya fungsi resisti-

vititas semu dapat pula dinyatakan sebagai fungsi dari setengah bentangan elektroda arus pertebal lapisan pertama, yang dirumuskan sebagai berikut (Koefoed, 1979).

$$\rho_a = \rho_1 f\left(\frac{L}{2d_1}\right) \quad \dots\dots\dots 2-25$$

dimana :

$\rho_a$  = resistivitas semu lapisan tertentu

$\rho_1$  = resistivitas semu lapisan pertama

L = bentangan elektroda

$d_1$  = tebal lapisan pertama

Dari fungsi di atas dapat diketahui bahwa untuk L besar, akan memberikan informasi tentang resistivitas semu bagian yang lebih dalam. Sedangkan untuk L kecil, akan menunjukkan resistivitas lapisan sebelah atas. Ini berarti untuk rentangan elektroda yang makin besar, resistivitas semu yang ditunjukkan juga makin dalam.

Jika  $\rho_a$  dilukiskan terhadap  $\frac{L}{2}$ , dengan membuat parameter lapisan tetap, kita akan memperoleh suatu kurva untuk parameter lapisan-lapisan tertentu.

Dengan menggunakan skala logaritma, maka persamaan (2-25) dapat ditulis :

$$\log \rho_a - \log \rho_1 = f \left( \log \frac{L}{2} - \log d_1 \right) \quad \dots\dots 2-26$$

$$\log \frac{\rho_a}{\rho_1} = f \log \frac{L}{2} d_1 \quad \dots\dots\dots 2-27$$

Persamaan di atas memperlihatkan bahwa dengan melukiskan  $\rho_a$  terhadap  $L$  pada skala double logaritma, akan memberikan bentuk kurva yang sama, untuk variasi harga  $\rho_1$  dan  $\alpha_1$  sepanjang parameter lapisan. Lapisan tersebut konstan.

Akibatnya pada kurva,  $\rho_1$  akan menggeser ke atas atau ke bawah sejajar dengan ordinat dan  $\alpha_1$  menggeser ke kiri atau ke kanan sejajar absis.

Dari pengukuran data lapangan, resistivitas semu adalah merupakan fungsi jarak setengah elektroda arus, yang dalam skala logaritma dapat dirumuskan :

$$\text{Log } \rho_a = f \left( \log \frac{L}{2} \right) \quad \dots\dots\dots 2-28$$

Persamaan (2-28) dan (2-26) adalah bentuk dari :

$$y - b = f (x - a)$$

dan 
$$y = f (x)$$

Bentuk kurva dari kedua persamaan ini sama satu sama lain, tetapi kurva yang pertama akan bergeser sejajar koordinat.

Jadi untuk harga  $\rho_1$  dan  $d_1$  tertentu, kita tidak memerlukan kurva yang berbeda sehingga satu kurva untuk perbandingan parameter tertentu dapat digunakan untuk setiap harga  $\rho_1$  dan  $d_1$ , dengan perbandingan parameter yang sama.

Berdasarkan hal ini dirancanglah model-model kurva

yang disebut kurva teoritis, mulai dari model kurva dua lapis, tiga lapis dan empat lapis. Dengan membandingkan kurva yang diperoleh dari data lapangan dengan kurva teoritis ini dapat diinterpretasikan harga resistivitas, tebal dan kedalaman masing-masing lapisan. Kurva -kurva standard ini dibuat oleh *Ernesto Orellana dan Harold M. Mooney* dalam bukunya "*Master Tables and Curves for Vertical Electrical Sounding Over Layered Structure*" (1966), yang memuat 25 macam kurva dan tabel untuk dua lapisan, 480 macam kurva dan tabel untuk tiga lapisan serta 912 kurva dan tabel untuk empat lapisan.

Untuk model dua lapis, dikenal dua tipe, yaitu tipe naik untuk  $\rho_2 > \rho_1$ , dan tipe turun, jika  $\rho_1 > \rho_2$ , seperti diperlihatkan pada gambar (2-13) dan (2-14).

Dengan bantuan kurva-kurva ini, secara tidak langsung dapat diinterpretasikan harga resistivitas, tebal atau kedalaman lapisan pertama.

Pada setiap garis ditunjukkan parameter tertentu, yang menunjukkan perbandingan antara resistivitas lapisan kedua dan lapisan pertama. Untuk kurva dua lapis, ketebalan kedua dianggap tidak berhingga.

Untuk permukaan yang terdiri dari tiga lapisan, biasanya dibagi menjadi empat tipe (*Koefoed, 1979*), yakni :

1. Tipe minimum, lazim disebut tipe H, dimana  $\rho_1 > \rho_2 < \rho_3$ . Tipe ini disebut juga tipe "bowl".

2. Tipe naik, biasa disebut tipe A, dimana  $\rho_1 > \rho_2 > \rho_3$ . Tipe ini disebut juga tipe "Ascending".
3. Tipe maximum, disebut juga tipe k atau "bell type", dimana  $\rho_1 < \rho_2 > \rho_3$ .
4. Tipe turun atau "descending type", dimana  $\rho_1 > \rho_2 > \rho_3$ , yang lazim disebut tipe Q.

Dalam setiap kurva tiga lapisan, dikenal 3 parameter yang menunjukkan perbandingan antara  $\rho_2/\rho_1$ ,  $\rho_3/\rho_1$ . Berdasarkan tipe-tipe di atas, dibuatkan model untuk setiap tipe, seperti diperlihatkan pada gambar (2-15), (2-16), (2-17) dan (2-18). Keempat kurva ini sering disebut sebagai kurva bantu (*Auxiliary Curve*). Garis-garis padat pada kurva menunjukkan perbandingan resistivitas suatu lapisan dengan resistivitas lapisan sebelumnya, sedangkan garis-garis putus menunjukkan perbandingan antara tebal suatu lapisan dengan lapisan sebelumnya.

Sangat sulit untuk membuat kurva-kurva teoritis, jika lapisan terdiri dari lebih dari 3 (tiga) lapisan, sebab akan banyak sekali kurva-kurva untuk setiap perbandingan parameter lapisan.

Interpretasi untuk banyak lapisan ini dapat dilakukan dengan bantuan kurva teoritis dan tiga lapisan, yang didasarkan pada prinsip reduksi dua lapisan dan tiga lapisan. Cara-cara ini disebut dengan "*Curva Matching*" atau cara pencocokan grafik yang diperoleh di lapangan

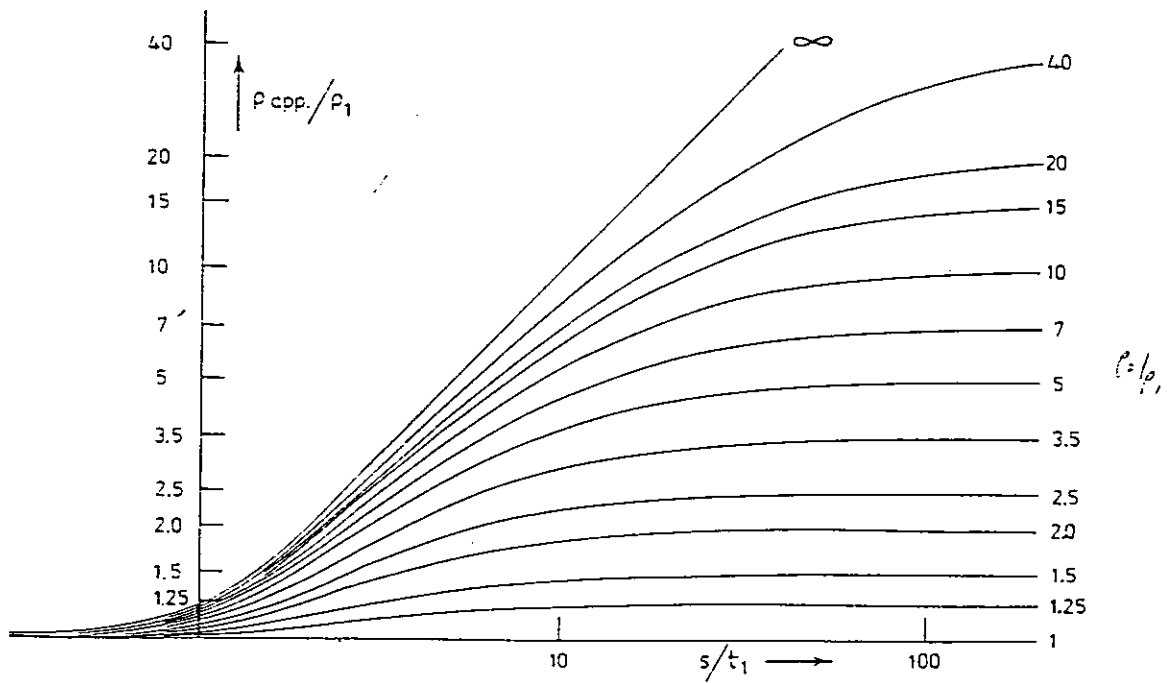
dengan kurva teoritis. Metode yang paling sering digunakan adalah yang dikembangkan oleh *Koefoed (1979)*, yang menggunakan 2 kurva standard untuk dua lapis, dibantu oleh 4 kurva teoritis untuk tiga lapisan. Dalam metoda ini interpretasi dilakukan tahap demi tahap terhadap kurva lapangan dengan menggunakan kurva-kurva yang terdiri dari dua lapisan dan tiga lapisan.

Dari data lapangan yang telah dibentuk dalam suatu kurva, dapat ditentukan kurva bantu yang akan digunakan. Didahului dengan matching oleh kurva utama yang dihipitkan sedemikian rupa, dimana titik  $\rho_a$  terbanyak yang melalui kurva utama sehingga didapatkan titik cross yang diinterpretasikan sebagai batas kontras resistivitas antar lapisan.

Bertitik tolak dari cross tersebut, dengan menggunakan kurva bantu yang telah ditentukan dapat dicari titik cross berikutnya, dengan menggunakan kurva utama yang digeser sepanjang garis pada kurva bantu yang telah ditentukan pertama, dengan catatan penggeseran harus selalu sejajar, baik absis maupun ordinatnya. Titik cross kedua ini merupakan batas kontras resistivitas lapisan kedua terhadap lapisan ketiga.

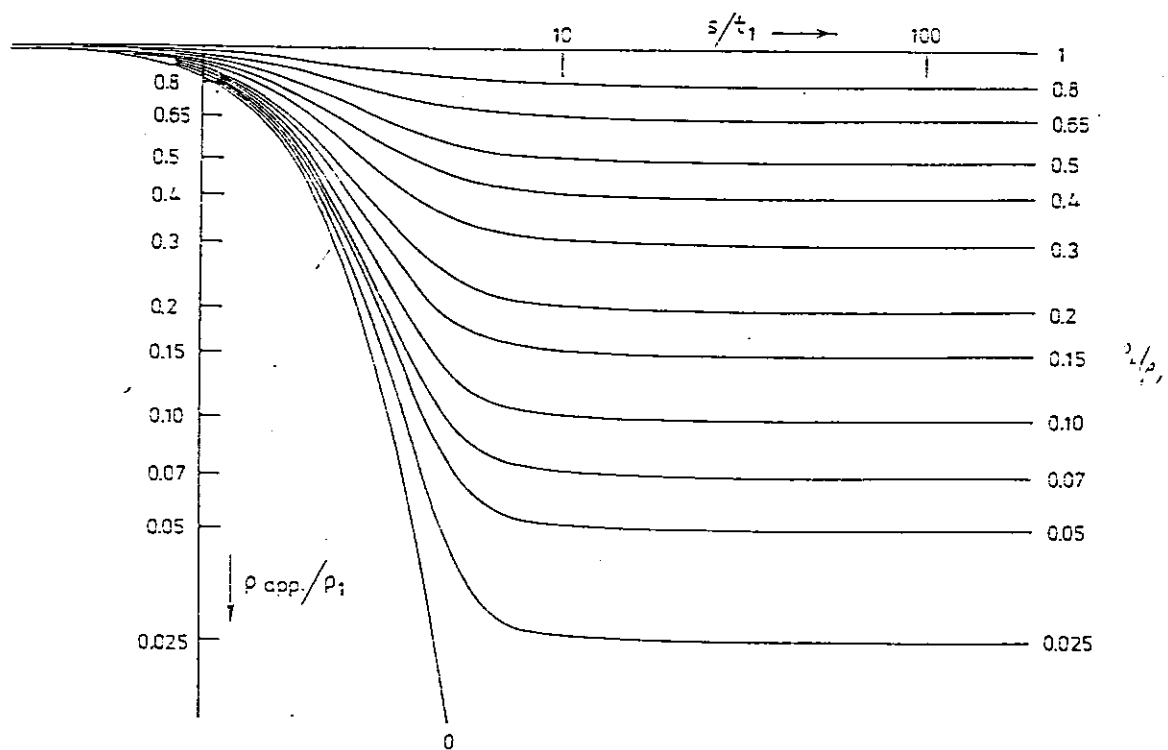
Perlu dicatat bahwa diantara keempat jenis kurva bantu, type H merupakan yang paling mudah penggunaannya, karena harga  $d_2/d_1$  dapat diperoleh dengan menarik garis sejajar ordinatnya, sehingga nilai  $d$  tidak perlu

dikoreksi. Untuk tipe A, K dan Q, diperlukan koreksi dalam menentukan ketebalannya, dimana harga ketebalan dapat dinyatakan dengan jarak cross pada absis, harus dikali dengan koreksi yang ada pada kurva bantu.

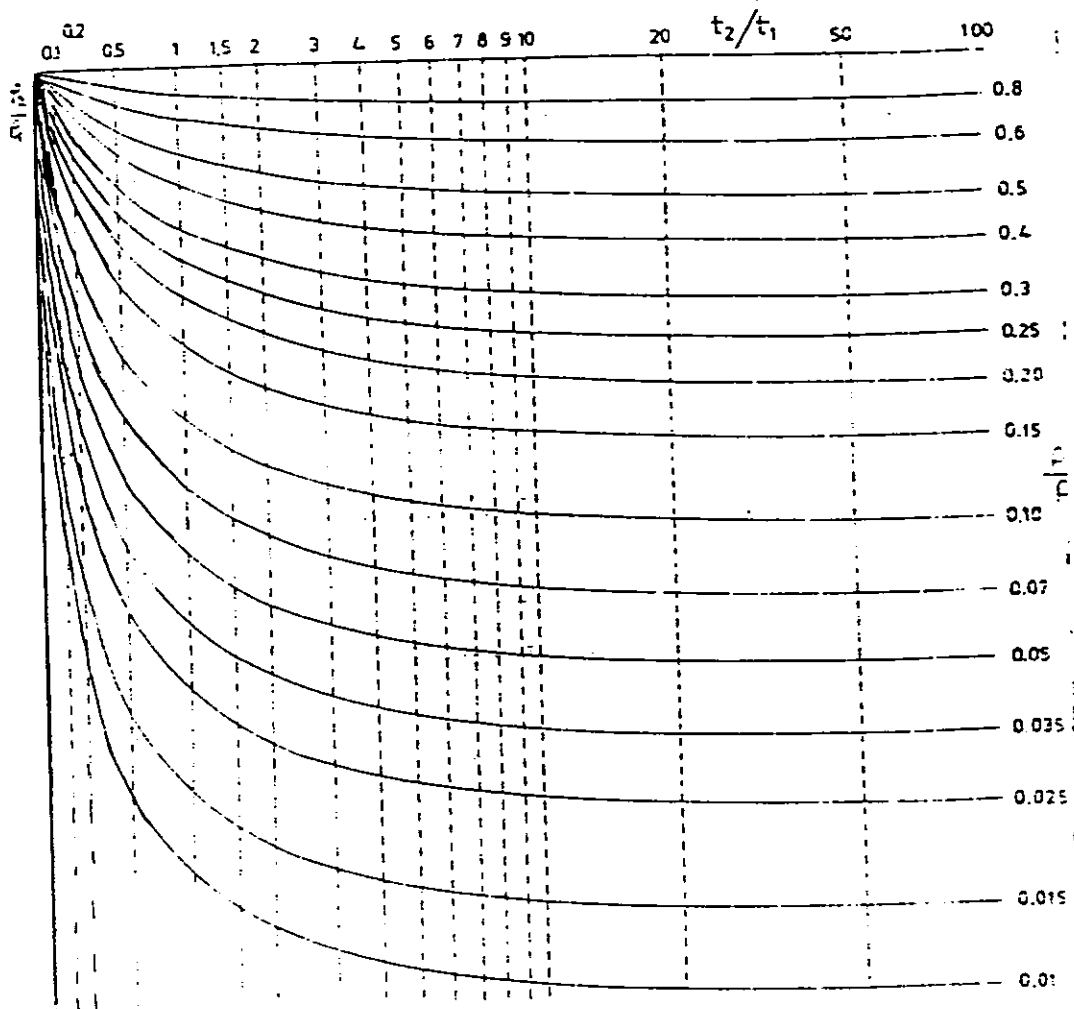


Gambar 2-13. Kurva teoritis untuk dua lapisan tipe naik ( $\rho_2 > \rho_1$ ).

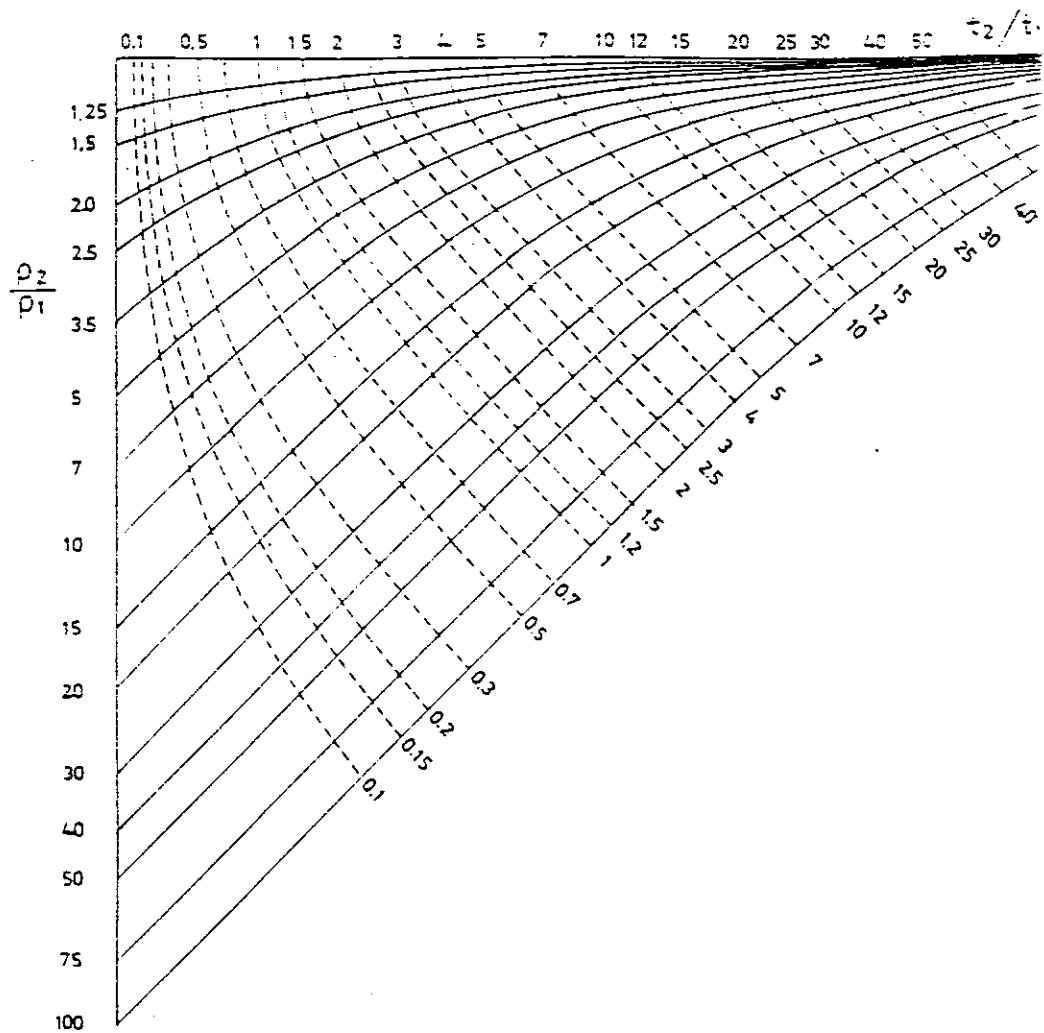




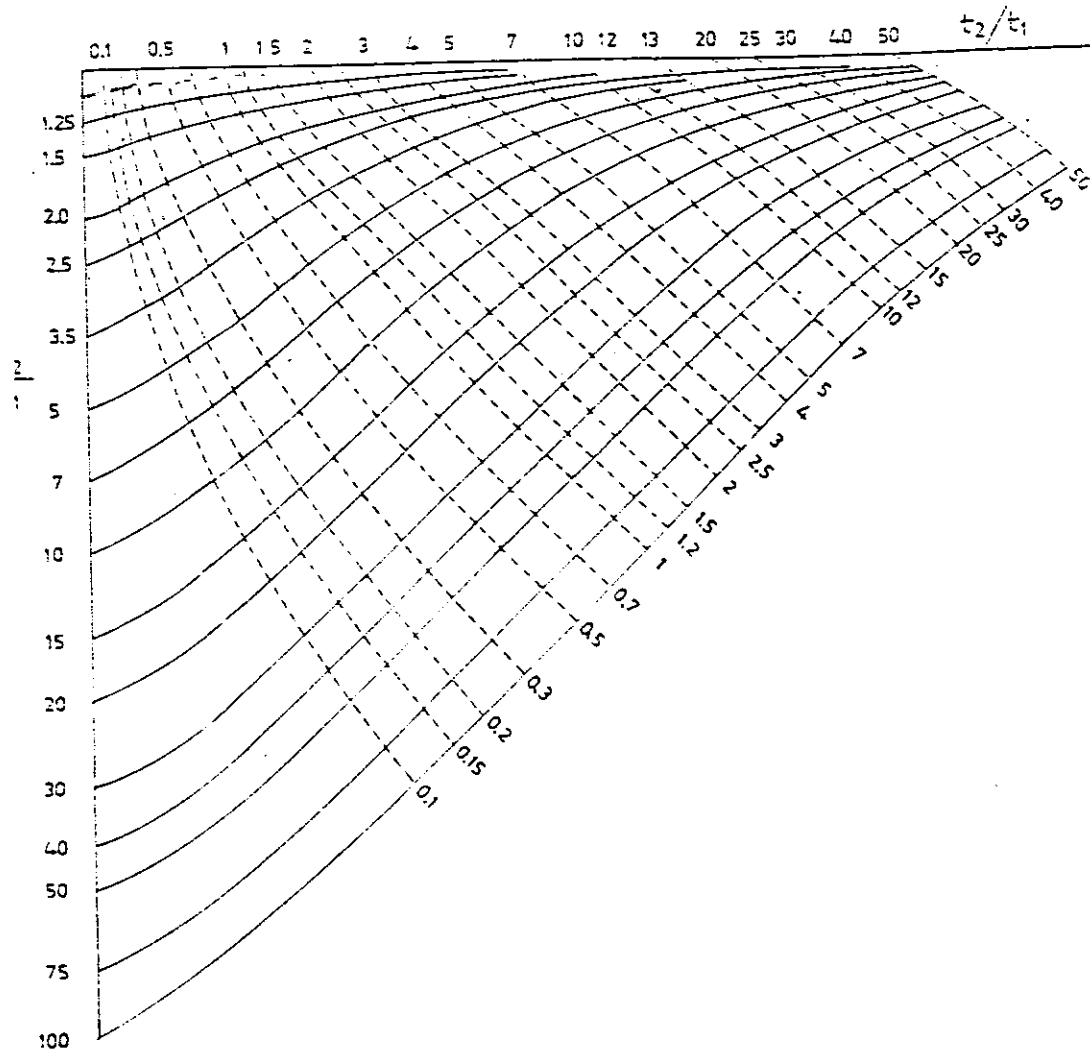
Gambar (2-14). Kurva teoritis untuk dua lapis tipe turun  
 $(\rho_1 < \rho_2)$



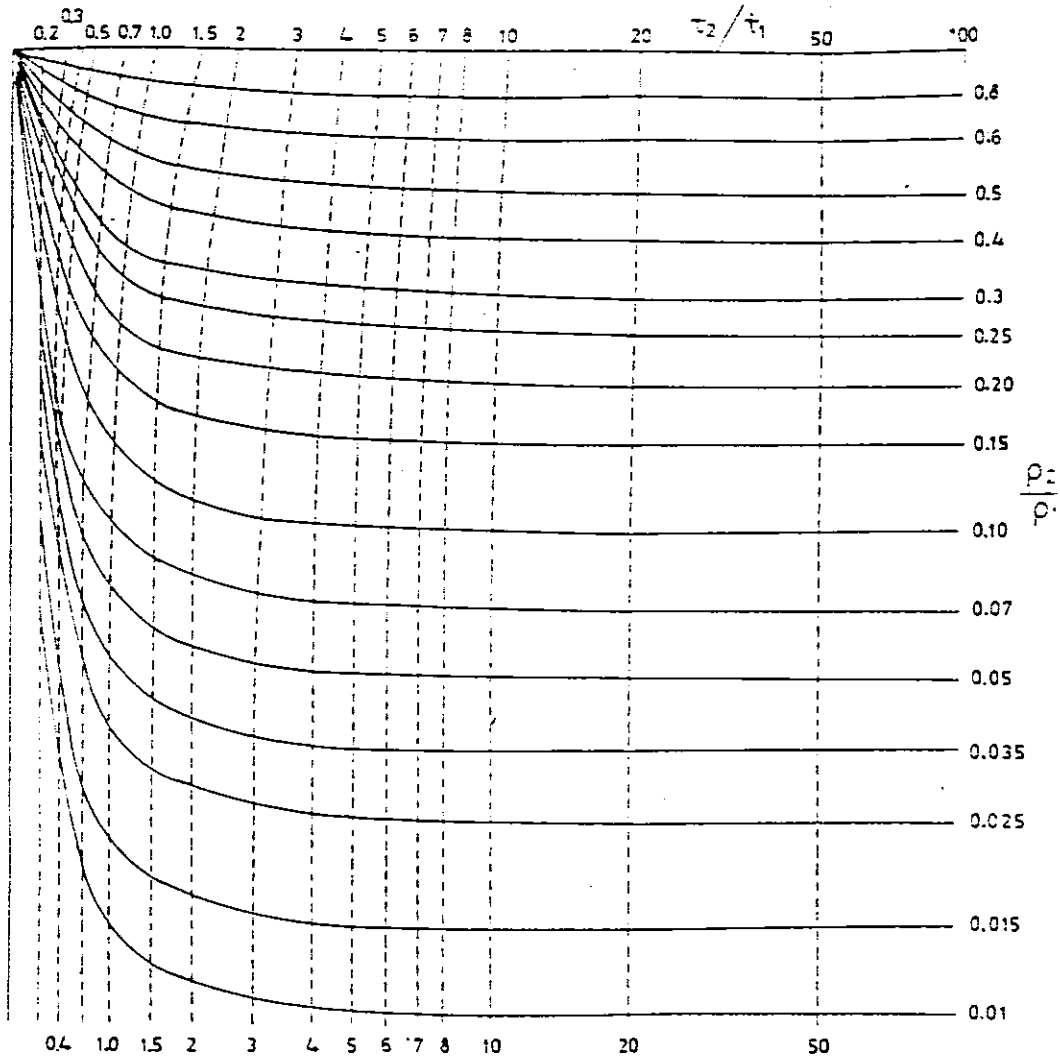
Gambar (2-15). Kurva teoritis untuk tiga lapis tipe "H"  
 $(\rho_1 > \rho_2 < \rho_3)$



Gambar (2-16). Kurva teoritis untuk tiga lapis tipe "A"  
 $(\rho_1 < \rho_2 < \rho_3)$



Gambar (2-16). Kurva teoritis untuk tiga lapis tipe "K"  
 $(\rho_1 < \rho_2 > \rho_3)$



Gambar (2-16). Kurva teoritis untuk tiga lapis tipe "Q"  
 $(\rho_1 > \rho_2 > \rho_3)$

### BAB III

#### PELAKSANAAN PENELITIAN

##### A. Peralatan/Perlengkapan

Alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah resistivitymeter OYO-ES-G1, milik Laboratorium Geofisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Gadjah Mada. Resistivitymeter ini dapat digunakan untuk survey struktur geologi bawah permukaan, survey air tanah, dan menafsirkan kandungan mineral.

Alat ini dalam bentuk portabel, cara pengoperasiannya cukup praktis. Selain itu alat ini mempunyai kelebihan lain yaitu :

1. Mampu mengalirkan arus listrik ke dalam tanah pada kedalaman yang lebih dalam. Hal ini dimungkinkan karena ada motor yang menghasilkan voltase dan arus listrik yang cukup besar.
2. Mempunyai ketelitian yang cukup baik.

Resistivitymeter OYO Model ES-G1 ini terdiri dari dua unit, yaitu unit komutator sebagai pemancar, sekaligus penerima dan unit potentiometer untuk mengukur beda potensial.

Unit komutator berfungsi sebagai pengubah arus searah menjadi arus bolak balik dengan bantuan dua buah transistor bertegangan tinggi dan sebagai pengarah mekanis dari arus bolak balik yang diterima oleh elektroda