

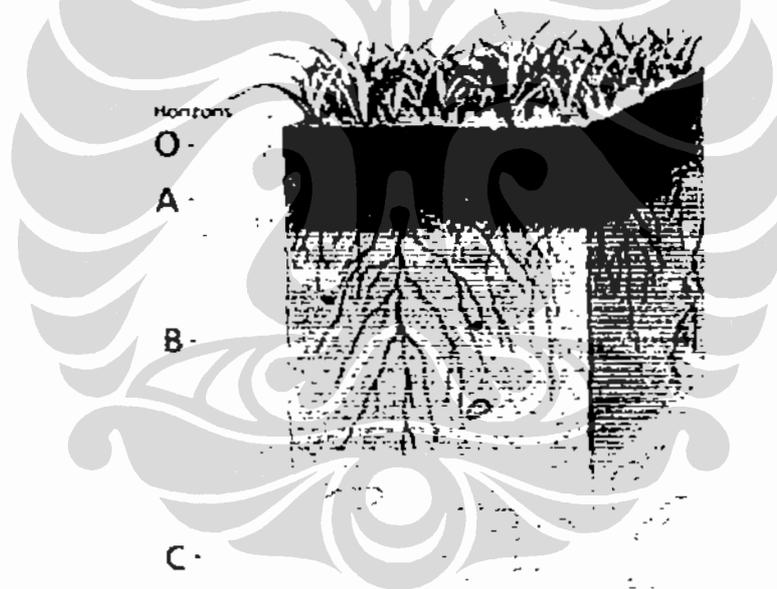
## BAB II

### KERANGKA TEORI

#### 2.1 PROFIL TANAH

Bumi terdiri dari lapisan-lapisan atau mantel pendukungnya, mulai dari inti bumi sampai kepada lapisan tanah yang merupakan lapisan terluar dari bumi. Tanah sendiri terbentuk dari beberapa lapisan, mulai dari lapisan atas yang terdiri dari lapisan yang lembut dan subur sampai ke lapisan bawah yang paling dasar terdiri dari bebatuan.

Berikut gambar 3.1 adalah gambar lapisan tanah pada tingkat atas sampai kurang lebih pada kedalaman 40 meter.<sup>[1]</sup>



**Gambar 2.1** lapisan tanah secara umum

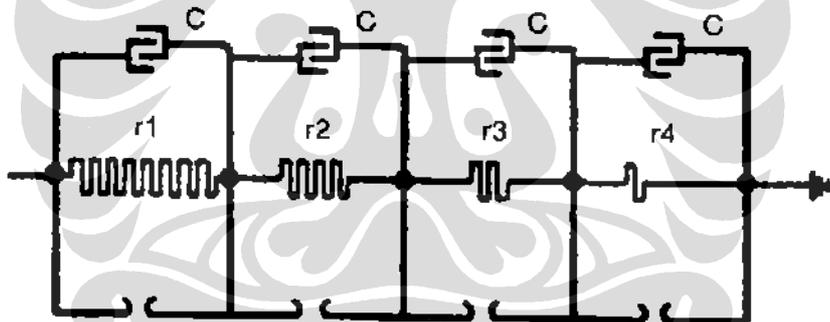
Lapisan-lapisan tersebut dimulai dari lapisan atas yaitu lapisan O atau lapisan organik, yang terdiri dari komposisi tanah lembut dan humus, lapisan A merupakan lapisan selanjutnya yang terdiri dari tanah liat atau tanah lempung. Lapisan selanjutnya adalah lapisan B, dimana pada lapisan ini terdapat mineral

dan pasir, sedangkan lapisan C lebih kompleks karena selain terdiri dari lapisan tanah juga sudah mendekati struktur bebatuan padat.

Untuk simulasi pengujian dibuat supaya mendekati struktur tanah secara keseluruhan. Pada bagian pengujian pertama hanya berisi tanah murni saja, untuk mencari nilai awal hambatan jenis tanah. Sedangkan bagian pengujian kedua dibuat lapisan pasir dan batu yang dicampur diantara lapisan tanah dasar dan lapisan paling atas, sehingga diharapkan elektroda pentanahan akan menyentuh lapisan pasir dan batu tersebut dan juga tetap menyentuh lapisan dasar tanah.

## 2.2 KARAKTERISTIK TANAH

Tahanan pentanahan dari suatu elektrode dapat dipengaruhi oleh tiga hal, yaitu tahanan dari elektrode batang pentanahan, tahanan kontak antara elektrode pentanahan dengan tanah, serta tahanan dari tanah. Tahanan elektrode pentanahan dan tahanan kontak bergantung dari jenis elektrode pentanahannya, sedangkan tahanan tanah bergantung dari jenis tanah.<sup>[1]</sup>



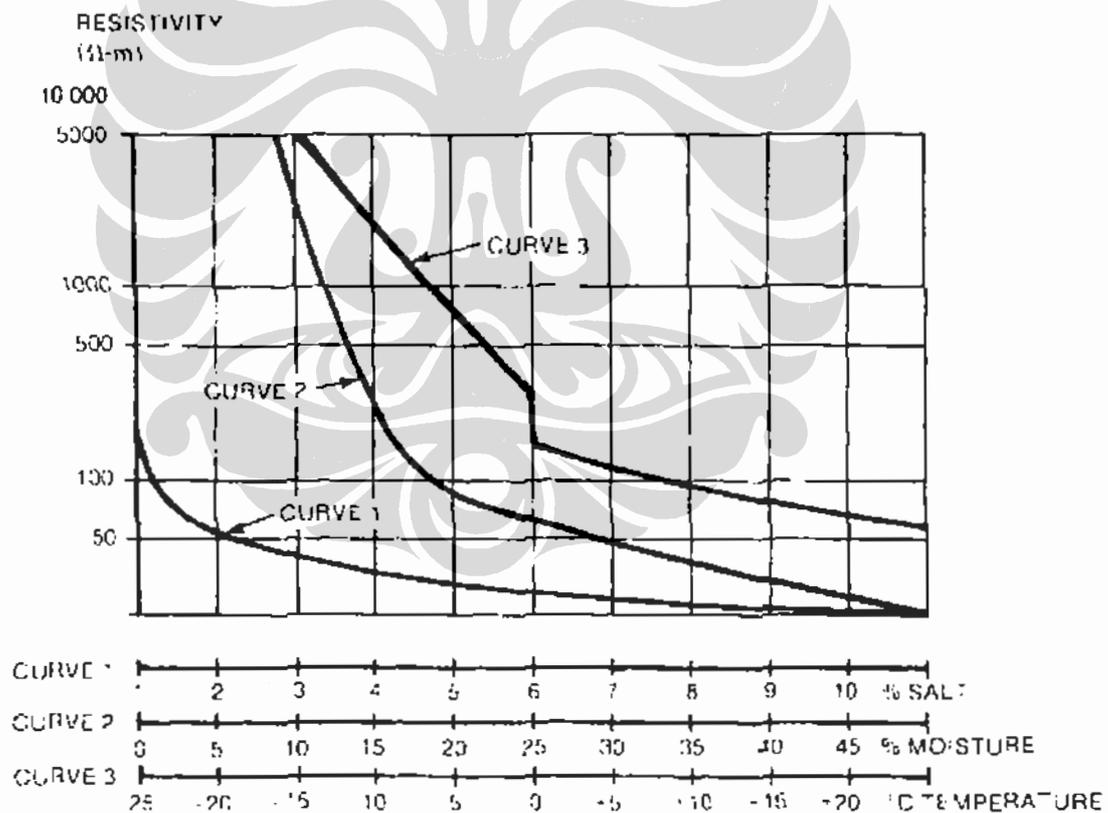
Gambar 2.2 Model tanah

Karakter elektrode pentanahan yang ditanam di tanah bisa dianalisa oleh rangkaian di gambar 2.1<sup>[3]</sup>. Dapat dilihat, kebanyakan tanah bertingkah laku baik sebagai penghantar dari hambatan R, maupun sebagai dielectric. Kecuali untuk gelombang yang berfrekuensi tinggi dan bergelombang tajam menembus bahan tanah yang sangat bertahanan tinggi, arus yang lewat tak berarti dibandingkan ke arus kebocoran, dan tanah bisa dilambangkan sebagai hambatan murni.

Efek gradient tegangan. Hambatan jenis tanah tidak terpengaruh oleh gradient tegangan kecuali bila melebihi nilai kritis tertentu. Nilai kadang berubah-

ubah dengan bahan tanah, tetapi biasanya mempunyai besaran beberapa kilovolt persentimeter. Jika melebihi, busur akan timbul di permukaan elektroda dan maju menuju tanah sehingga menambah ukuran efektif elektroda, sampai gradient dikurangi hingga nilai yang bisa ditahan oleh bahan tanah. Kondisi ini dijelaskan oleh adanya celah di gambar 2.1. Sejak sistem pendukung pentahanan biasanya didesain untuk menahan jauh lebih banyak kriteria batas tegangan sentuh dan tegangan langkah, gradient selalu bisa diasumsikan dibawah batas kritis.

Efek lonjakan arus. Tahanan jenis tanah di sekitar elektroda pentahanan dapat terpengaruh oleh arus mengalir dari elektroda ke dalam tanah sekitarnya. Sifat termal dan kelembaban tanah akan memutuskan jika arus yang diberi besarnya dan lamanya akan menyebabkan pengeringan yang besar dan kemudian mengurangi efektifitas tahanan jenis tanah. Nilai konservatif kerapatan arus, yang diberikan oleh Armstrong, harus tidak melebihi 200 A/m<sup>2</sup> per detik.



**Gambar 2.3** Efek kelembaban, temperatur dan garam pada tahanan jenis tanah

Efek dari kelembaban dan campuran kimia. Konduksi listrik di tanah pada hakekatnya bersifat elektrolit. Untuk sebab ini tahanan jenis tanah kebanyakan tanah naik dengan tiba-tiba setiap kali kelembaban menunjukkan kurang dari 15% dari berat tanah. Banyaknya air lebih lanjut bergantung pada ukuran tanah, kepadatan, dan keanekaragaman ukuran butiran tanah. Tetapi, pada gambar 2.2, kurva 2, tahanan jenis sedikit terpengaruh begitu kelembaban melebihi 22%. Efek suhu pada hambatan jenis tanah hampir tak berarti untuk suhu diatas titik beku. Di 0°C, air di tanah mulai membeku dan tahanan jenis bertambah secara sepat. Kurva 3 menunjukkan variasi untuk tanah liat yang berisi 15,2% kelembaban oleh berat

Susunan dan banyaknya garam dapat larut, asam, atau alkali yang terdapat di tanah sangat mungkin mempengaruhi tahanan jenisnya. Kurva 1 gambar 2.2 menjelaskan efek khas garam (sodium klorida) pada tahanan jenis tanah yang mengandung kelembaban 30% dari berat. Untuk menentukan tahanan jenis tanah sebenarnya, tes seperti yang yang digambarkan di ANSI/IEEE Std 81-1983 sebaiknya dilakukan langsung di tempat.

Penggunaan lapisan batu kecil. Kerikil atau lapisan batu koral, biasanya pada kedalaman sekitar 0,08 - 0,15 m (3 - 6 inchi), sangat berguna dalam memperlambat penguapan kelembaban dan juga dalam membatasi pengeringan lapisan-lapisan tanah atas selama cuaca kering yang berkepanjangan. Juga, menutupi permukaan dengan bahan yang memiliki tahanan jenis tinggi sangat berguna dalam mengurangi arus kejut. Kegunaan lapisan ini dalam mengurangi arus kejut tidak selalu sepenuhnya disadari. Tes oleh Bodier di Perancis menunjukkan bahwa kerikil sungai yang biasa digunakan sebagai pelapis permukaan halaman kalau dibasahi mempunyai tahanan jenis 5000 ohm-m. lapisan setebal 4-6 inchi mengurangi faktor bahaya (rasio dari tubuh ke arus hubung singkat) menjadi rasio 10:1, dibandingkan dengan tanah lembab yang murni.

Tes oleh Langer di Jerman membandingkan arus tubuh kalau menyentuh hidran ketika berdiri di atas kerikil kasar yang basah sebanyak 6000 ohm-m tahanan tanah dengan arus tubuh berdiri di lempeng rumput kering. Arus di kasus lempeng rumput kering lebih banyak sebanyak 20 kali nilai untuk kerikil kasar yang basah. Tes yang dilaporkan oleh Elck memberikan penegasan lebih lanjut

keuntungan ini. Dalam mendasarkan perhitungan pada penggunaan lapisan batu atau kerikil halus, pertimbangan sebaiknya diberikan kepada kemungkinan bahwa isolasi mungkin menjadi halangan antara lain lewat mengisi kekosongan oleh tekanan lapisan-lapisan pemberat yang paling rendah ke dalam tanah di bawah di samping bahan dari penggalian berikut, jika dengan cermat tidak menghilangkan, dan di beberapa bidang, oleh penyelesaian debu mengudara.

Tingkat nilai hambatan jenis pada lapisan batu halus bergantung pada banyak faktor, beberapa di antaranya yang adalah jenis batu, ukuran, kondisi batu (yaitu, bersih atau bercampur yang lain), jumlah dan tingkat kelembaban, dan lainnya. Tabel menunjukkan bahwa tahanan jenis air yang membasahi batu mempunyai cukup banyak pengaruh tahanan jenis terukur pada lapisan batu kerikil. Dengan begitu, batu kerikil ditujukan ke ke laut yang membasahinya mungkin mempunyai tahanan jenis yang lebih rendah dari pada batu hancur halus digunakan di lingkungan kering. Menurut sejarah, nilai sebanyak 3000 ohm-m telah digunakan untuk tahanan jenis batu kerikil yang basah. Tetapi, seperti yang ditunjukkan oleh tabel 2.1, kondisi lokal, ukuran, dan macam batu, mungkin menentukan hasil nilai tahanan jenis yang lebih tinggi atau lebih rendah. Tabel 2.1 memberi nilai umum tahanan jenis untuk nilai batu kerikil diukur di daerah berbeda negara. Nilai ini tidak berlaku untuk bermacam-macam dan ukuran batu di daerah yang berbeda negara. Seperti disebutkan di atas, tes sebaiknya dilakukan untuk memutuskan tahanan jenis batu yang akan digunakan.

**Tabel 2.1** Tahanan Jenis Kerikil dan Pasir secara umum

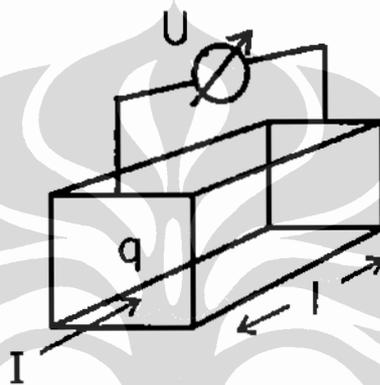
Deskripsi sampel batuan	Tahanan jenis sampel ( $\Omega$ -m)		
	Kering	Dibasahi dengan air tanah	Dibasahi dengan air garam
Granit remuk halus	$141,8 \times 10^6$	1318,7	705,0
Granit bersih	$192,5 \times 10^6$	8106,8	2166,5
Batu gamping	$7,3 \times 10^6 - 68,5 \times 10^6$	2094,8 – 2912,4	1274,8 – 1470,8
kerikil (macam dan ukuran tak diketahui)	$141.8 \times 10^6$	8534,4	24,4

Batu remuk halus (macam dan ukuran tak diketahui)	$141,8 \times 10^6$	4267,2	121,9
---	---------------------	--------	-------

Sumber : IEEE std 80 1986 hal 73

### 2.3 TAHANAN JENIS (*RESISTIVITY*)

Tahanan jenis adalah hasil pengukuran sejauh mana kekuatan material menahan arus listrik, tahanan jenis yang kecil mengindikasikan suatu bahan yang dengan mudah memperbolehkan arus listrik mengalir<sup>[4]</sup>.



Gambar 2.4 bagan tahanan jenis listrik

Suatu arus searah dengan arus sebesar 1 A mengalir melalui suatu konduktor dengan ukuran yang terbatas maka akan timbul perlawanan yang dapat dirumuskan sebagai berikut

$$I = \frac{qV}{\rho l} \quad (2.1)$$

Dimana I = besaran arus (A)

V = Tegangan (V)

q = luas penampang ( $m^2$ )

l = panjang penampang (m)

$\rho$  = tahanan jenis (ohm-m)

maka untuk mendapatkan nilai tahanan jenis dari rumus 2.1 diperoleh

$$\rho = \frac{qV}{Il} \quad (2.2)$$

Sedangkan tahanan listrik adalah rasio derajat ke benda yang menahan arus listrik yang melewatinya, diukur di satuan ohm. Dengan asumsi kepadatan arus seragam, tahanan listrik benda dapat dirumuskan dengan:

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

Dimana  $l$  = panjang penampang (m)

$\rho$  = tahanan jenis (ohm-m)

$A$  = Luas penampang

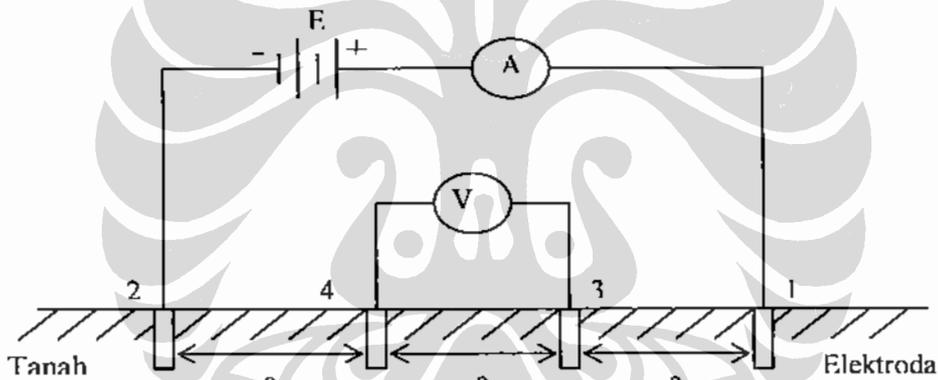
## 2.4 METODE PENGUKURAN TAHANAN JENIS TANAH

Untuk menentukan tahanan jenis tanah biasanya dilakukan dengan cara<sup>[5]</sup> :

1. Metode empat titik (*four electrode methode*)
2. Metode tiga titik (*three-point methode*).

### 2.4.1. Metoda Empat Titik

Metoda pengukuran yang dipergunakan adalah metoda empat titik seperti gambar.



**Gambar 2.5** Pengukuran tahanan jenis tanah dengan Metode 4 titik

Bila arus  $I$  masuk ke dalam tanah melalui salah satu elektroda dan kembali ke elektroda yang lain sehingga pengaruh diameter konduktor dapat diabaikan. Arus masuk ke tanah mengalir secara radial dari elektroda, misalkan arah arus dalam tanah dari elektroda 3 ke elektroda 4 berbentuk permukaan bola dengan jari-jari  $r$ , luas permukaan tersebut adalah  $2\pi r^2$ , dan rapat arus adalah :

$$J = \frac{I}{2\pi r^2} \quad (2.3)$$

dimana :

$$J = \text{kerapatan arus [ A/m}^2 \text{ ]}$$

$r$  = jari-jari [ m ]

$I$  = arus yang mengalir dalam tanah [ A ]

Dapat diperoleh tahanan jenis tanah pada elektroda 3 dan 4 jika diketahui tahananannya

$$\rho = R_{34} (2\pi a) \quad (2.4)$$

dimana :

$a$  = jarak antara elektroda [m]

$R_{34}$  = tahanan antara elektroda 3 dan 4 [ $\Omega$ ]

$\rho$  = tahanan jenis tanah [ $\Omega$ -m]

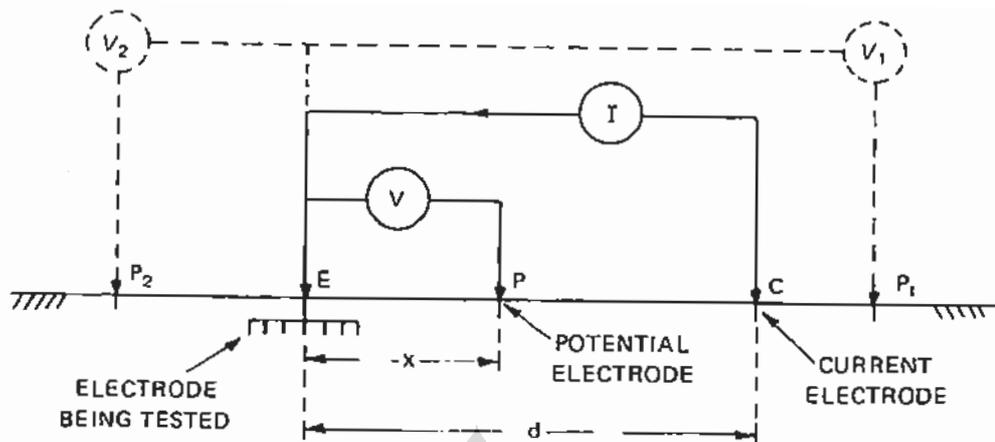
### 1.3.2. Metode Tiga Titik

Metode ini memerlukan penggunaan sebanyak dua elektroda tes dengan tahanan dari elektroda tes ditunjuk R2 dan R3 dan dengan elektroda untuk diukur yaitu R1. Hambatan antara masing-masing pasang elektroda diukur dan diberikan nama R12, R13, dan R23, di mana  $r12 = r1 + r2$  dan seterusnya.

Maka diperoleh persamaan

$$r1 = \frac{(r12)-(r23)+(r13)}{2} \quad (2.5)$$

Oleh karena itu, dengan mengukur hambatan seri masing-masing pasang elektroda pentanahan dan mensubstitusikan nilai hambatan di persamaan, nilai R1 dapat diperoleh. Jika kedua elektroda tes memiliki hambatan yang lebih tinggi daripada elektroda yang sedang diuji, kesalahan pengukuran individual akan sangat besar di hasil akhir. Untuk pengukuran, elektroda harus di suatu jarak dari satu sama lain; atau keganjilan mungkin timbul di perhitungan, seperti nol atau hambatan negatif<sup>[6]</sup>.



**Gambar 2.6** Pengukuran tahanan jenis tanah dengan Metode 3 titik

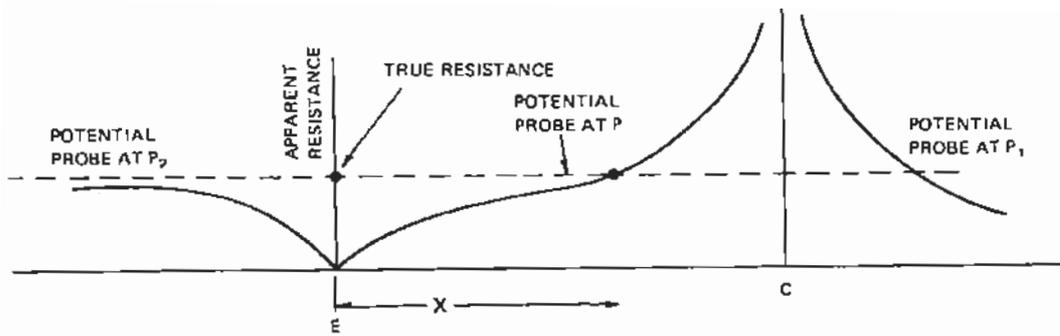
Sedangkan untuk menghitung  $\rho_a$  pada metode 3 titik digunakan rumus

$$\rho_a = \frac{2\pi LR}{\ln\left(\frac{BL}{d}\right) - 1} \quad (2.6)$$

Dimana

- $\rho_a$  = hambatan jenis tanah
- L = kedalaman elektroda pentanahan
- d = diameter elektroda
- R = tahanan terukur

Arus I yang melewati elektroda uji E dan elektroda arus C, menghasilkan variasi potensial di permukaan tanah. Potensial profile disepanjang C, P, E, arahnya dapat dilihat di gambar. Potensial diukur dengan elektroda yang diuji E, yang diasumsikan di potensial nol. Metode turunya potensial terdiri dari menggambar rasio  $V/I = R$  sebagai fungsi jarak spasi x. Elektroda potensial dipindahkan jauh dari tanah yang sedang diuji dalam setiap langkah. Nilai tahanan didapatkan di masing-masing langkah. Nilai hambatan ini digambarkan sebagai fungsi jarak, dan nilai ohm di yang garis lengkung ini yang direncanakan muncul untuk diambil sebagai hambatan nilai tanah di area pengujian.

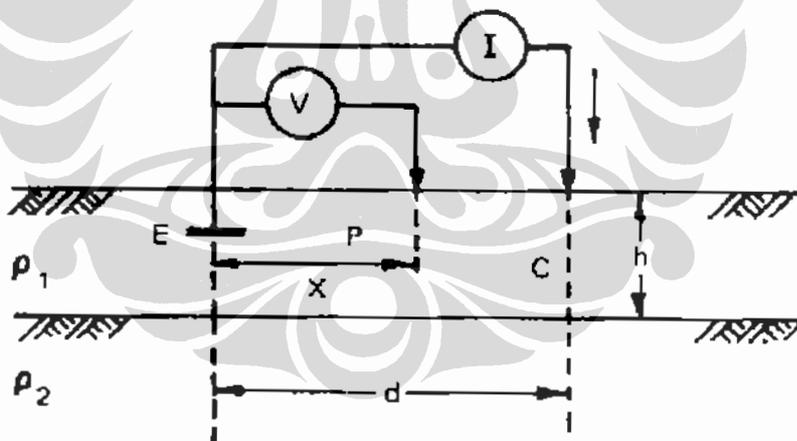


Gambar 2.7 Nilai hambatan nyata untuk jarak X

## 2.5 METODE PENGUKURAN TAHANAN JENIS DUA LAPISAN TANAH

Untuk pengukuran dua jenis lapisan tanah pada gambar 2.5, harus diketahui kedalaman lapisan tanah pertama, dan tahanan jenis lapisan tanah pertama, kemudian menentukan faktor koefisien refleksi K yaitu

$$K = \frac{\rho_2 - \rho_1}{\rho_2 + \rho_1} \quad (2.7)$$



Gambar 2.8 Metode pengukuran dua lapisan tanah

Sehingga untuk mendapatkan nilai tahanan jenis tanah pada dua lapisan tanah dapat dipergunakan persamaan<sup>171</sup>

$$Rho_{av} = \rho_1 \left\{ 1 + 2 \sum_{n=1}^{\infty} \frac{K^n}{d} \left[ \frac{2a}{\sqrt{1 + (2nH/a)^2}} - \frac{a}{\sqrt{1 + (2nH/2a)^2}} \right] \right\} \quad (2.8)$$