

KESALAHAN-KESALAHAN DALAM PENGUKURAN

1. Internal (alat itu sendiri)
2. Eksternal (manusia, lingkungan)

Istilah dalam pengukuran



1. Ketelitian (accuracy)
2. Presisi
3. Sensivitas
4. Kesalahan (error)

Ketelitian (accuracy) :

Pendekatan dengan harga yang ditunjukkan sebenarnya dari pada besaran yg diukur

Presisi :

Kemampuan dari alat ukur dalam pengukurannya.

Presisi tinggi = kesalahan kecil

Sensitivitas :

Kemampuan alat ukur, input kecil, perubahan output yang besar/simpangan jarum penunjuk besar

Kesalahan (error) :

Penyimpangan dari harga sebenarnya dari pengukuran.

- a. Relatif Error adalah perbandingan antara besaran kesalahan thd harga yang sebenarnya.

Kesalahan dari alat ukur () = M-T

M = harga yang didapat dari alat ukur.

T = harga yang sebenarnya dari kebesaran yang diukur.

Kesalahan relatif adalah hasil bagi dari kesalahan terhadap harga sebenarnya (/) atau disebut ratio kesalahan dan harga numeriknya dinyatakan dengan %

- b. Systematic error adalah kesalahan karena konstruksi alat :
 - Kesalahan karena konstruksi besarnya ditentukan oleh pabrik.
 - Kesalahan karena pembacaan jarum penunjuk (secara konstruksi kurang runcing, kurang tipis, bayangan jarum sehingga menyebabkan kesalahan paralax)

Contoh :

Dari hasil pengukuran terhadap tahanan didapat tegangan antara ujung-ujungnya adalah (100 ± 1) volt dan arus yang melalui tahanan tersebut sebesar $(90 \pm 0,9)$ mA. Hitunglah Besar tahanan tersebut :

Jawab :

$$R = V/I$$

$$V = 100 \pm 1$$

$$I = 90 \pm 0,9$$

Maka :

$$\text{Relatif error : } (1/100) \times 100\% = 1\%$$

$$\text{Relatif error : } (0,9/90) \times 100\% = 1\%$$

Jadi :

$$\begin{aligned} R/R &= (\Delta V/V) + (\Delta I/I) \\ &= (1/100) + (0,9/90) \\ &= 0,01 + 0,01 = 0,02 \end{aligned}$$

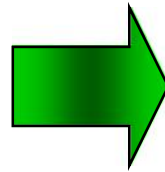
$$\begin{aligned} R &= 0,02 (100/90) \\ &= 0,0222 \text{ k} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} R &= (V/I) \pm R \\ &= (100/90) \pm 0,0222 \\ &= 1,11 \pm 0,0222 \text{ k} \end{aligned}$$

STANDAR KETELITIAN ALAT UKUR

1. Ketelitian alat ukur diklasifikasikan dalam 8 kelas yaitu : 0,05 ; 0,1 ; 0,2 ; 0,5 ; 1; 1,5; 2,5; 5.
artinya kesalahan alat ukur didalam batas-batas ukur seharusnya ada dalam batas masing-masing X sebagai $\pm 0,05\%$; $\pm 0,1\%$; $\pm 0,2\%$; $\pm 0,5\%$; $\pm 1\%$; $\pm 1,5\%$; $\pm 2,5\%$; $\pm 5\%$
secara relatif kepada harga maksimum-masing kelas tersebut.
2. Dalam pemilihan alat ukur untuk pengukuran, peralatan, perencanaan penggunaan alat maka diklasifikasikan menjadi 4 kelas yaitu :
 - a. Kelas 0,05; 0,1 ; 0,2 golongan dengan ketelitian/presisi sangat tinggi biasanya ditempatkan stationer dan digunakan untuk eksperimen dilaboratorium atau untuk pengujian alat ukur lainnya.
 - b. Kelas 0,5 golongan dengan ketelitian tinggi dan biasanya dipakai pada alat-alat ukur portable.
 - c. Kelas 1,0 golongan lebih rendah dari kelas ukur 0,5 dengan presisi tinggi, biasanya dipergunakan pada alat ukur portable yang kecil atau ditempatkan pada panil yang besar.
 - d. Kelas 1,0 ; 2,5 ; 5 golongan dengan ketelitian yang tidak begitu tinggi, biasanya dipasang pada panil-panil dengan ketelitian yang tidak penting.

PENYEBAB KESALAHAN ALAT UKUR



1. Medan magnet luar
2. Temperatur keliling
3. Pemanasan sendiri
4. Pergeseran dari titik nol
5. Gesekan
6. Umur
7. Letak dari alat ukur

Medan magnet luar

Terganggunya medan magnet pada celah udara pada sirkit magnet dan kumparan alat ukur.

Temperatur keliling

Suhu jauh berbeda maka ada pemuaian dan penyusutan, sehingga kesalahan terjadi.

Pemanasan sendiri

Arus pada pengukuran menyebabkan terjadinya perubahan nilai pada alat kumparan

Pergeseran dari titik nol

Kelenturan dari pegas, jika digunakan berulang-ulang akan terjadi pergeseran dari titik nol.

Gesekan-gesekan

Terbuat dari bantalan dan sumbu, maka penggunaan berulang kali mengakibatkan kesalahan karena rugi-rugi gesek makin besar.

Umur

Kemungkinan besar akan berubah, dan sebaiknya dilakukan kalibrasi secara berkala (0,5 sampai 1 tahun sekali)

Letak dari alat ukur

Secara konstruksi ditentukan oleh pabrikasi, maka ikut simbol / tanda peletakan dari alat tersebut, seperti

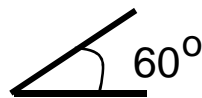
Tegak simbolnya



Datar

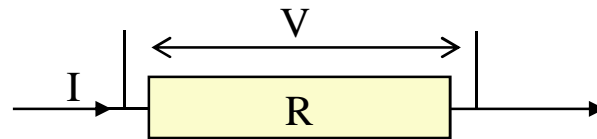


Miring 60°



TAHANAN DAN PENGUKURANNYA

Tahanan yang ideal adalah bila diberi tegangan diantara kedua ujungnya, maka tegangan tersebut akan sebanding dengan arus yang mengalir pada tahanan tersebut.



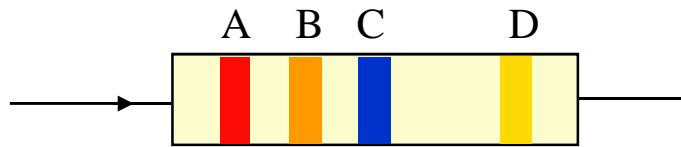
Nilai tahanan dan pengaruh suhu

Nilai tahanan biasanya ditentukan dengan kode *warna*, besarnya nilai kode-kode warna tersebut adalah sebagai berikut :

1. Hitam : 0
2. Coklat : 1
3. Merah : 2
4. Jingga/orange : 3
5. Kuning : 4
6. Hijau : 5
7. Biru : 6
8. Ungu/violet : 7
9. Abu-abu : 8
10. Putih : 9
11. Emas : 5 %
12. Perak : 10 %
13. Tanpa warna : 20 %

Warna emas, perak dan tanpa warna adalah toleransi dari tahanan tersebut jadi besarnya nilai tahanan R dapat dirumuskan sbb :

Jadi besarnya nilai tahanan R dapat dirumuskan sebagai berikut :



Contoh :

Sebuah tahanan dengan warna merah, jingga, biru dan emas, maka cara mengetahui nilainya adalah :

$$R = A, B, 10^6 \pm D \%$$

$$R = A, B, 10^6 \pm 5 \%$$

$$= 23000000 \pm 5 \%$$

$$= 23 \text{ M dengan toleransi } 5 \%$$

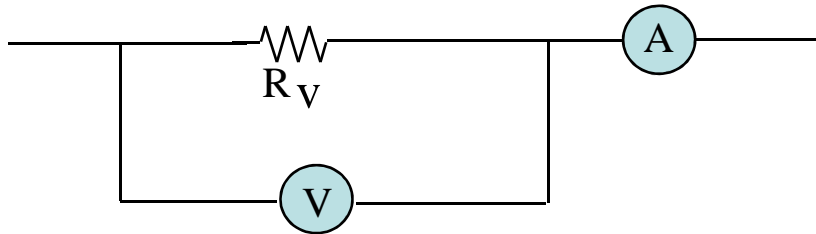
PENGUKURAN TAHANAN

Klasifikasi pengukuran tahanan :

1. Tahanan rendah ($< 1 \Omega$); mis. R kontak, R belitan dll.
2. Tahanan menengah ($1 \Omega - 10 \Omega$); mis. Keperluan peralatan elektronik
3. Tahanan tinggi ($>10 \text{ M}\Omega$); mis. Tahanan isolasi

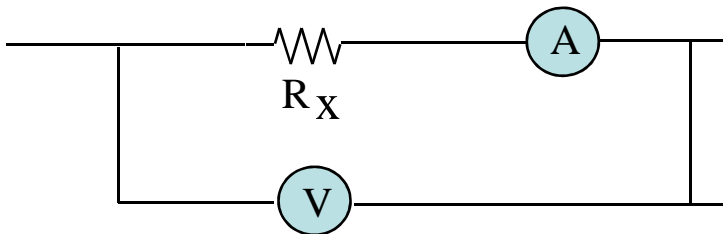
Pengukuran tahanan rendah :

Dapat dilakukan dengan metode Volt-Ampere Meter



$$R_V = \frac{V}{A} \text{ Volt / Amp}$$

Digunakan untuk pengukuran yang rendah yang relatif kecil



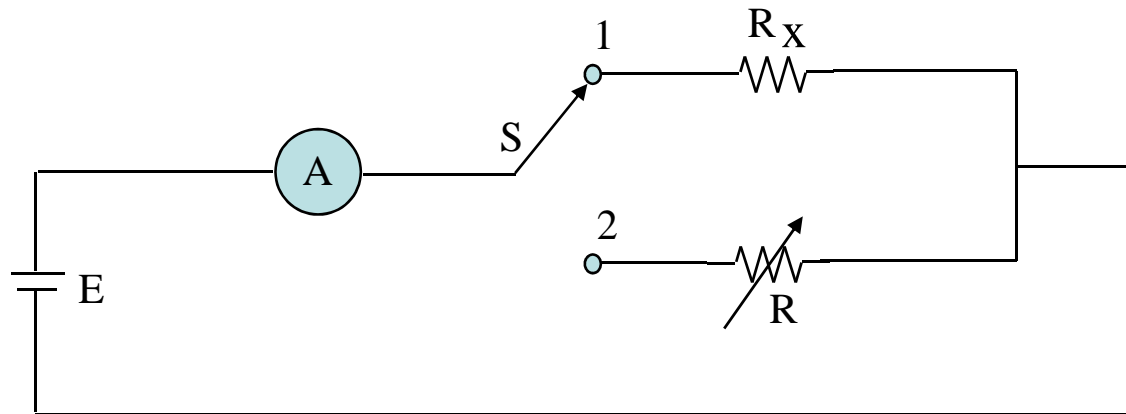
$$R_X = \frac{V}{A} \text{ Volt / Amp}$$

Digunakan untuk pengukuran tahanan rendah yang relatif besar

Pengukuran Tegangan Menengah :

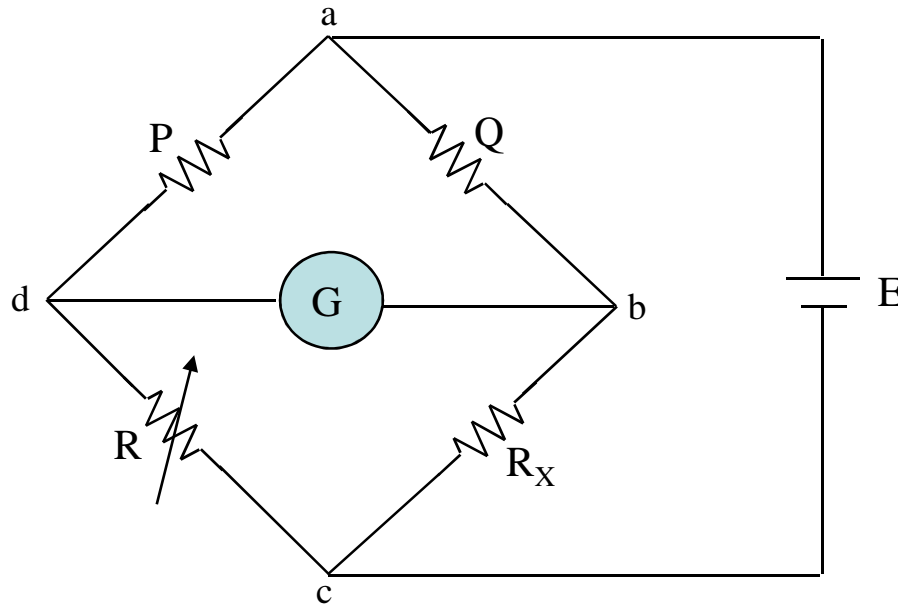
Dapat dilakukan dengan :

- ❖ ohm-meter; langsung dengan alat ukur
- ❖ metode volt-ampere meter; sama seperti di atas
- ❖ metode substitusi
- ❖ metode jembatan



Kontak S pada posisi 1 dibaca nilai A (Amperemeter), maka kontak S pada posisi 2 nilai A harus sama dengan cara mengatur R (variabel / potensiometer) sehingga didapat nilai R_x .

Metode Jembatan :



- R_x = Tahanan yang akan diukur
 P, Q, R = Tahanan-tahanan yang besar
nilainya diketahui
 G = Galvanometer
 E = Tegangan

Dalam Keadaan setimbang :

$$V_{ad} = V_{ab}$$

$$V_{cd} = V_{cb}$$

$$I_1 P = I_2 Q$$

$$I_1 R = I_2 R_x$$

Maka:

$$\frac{P}{Q} = \frac{R}{R_x} = \frac{i_2}{i_1}$$

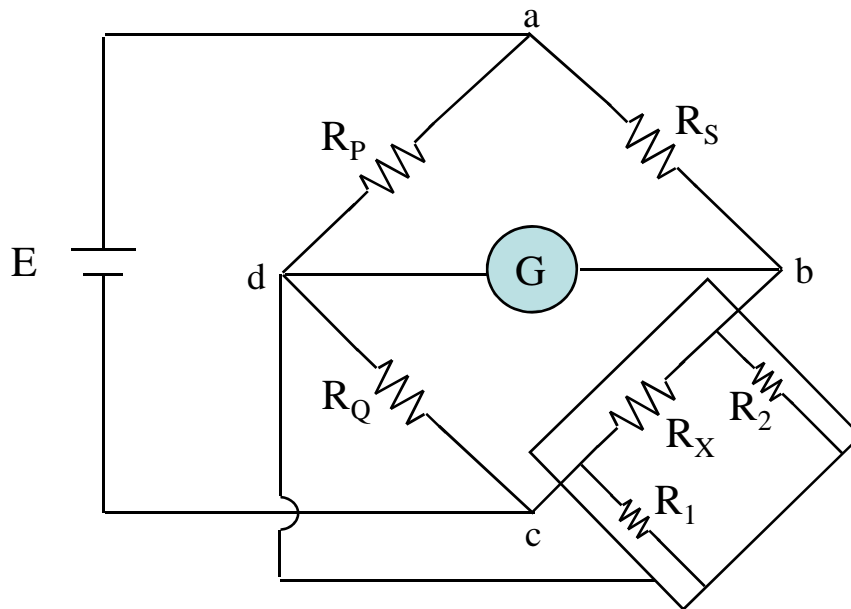
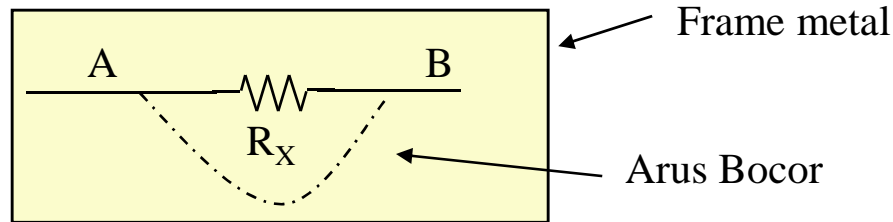
$$R_x = \frac{QR}{P}$$

Pengukuran Tahanan Isolasi

Dapat dilakukan dengan jembatan MegaOhm.

Kesalahan yang timbul pada metode ini adalah adanya arus bocor pada tahananannya.

Untuk mengurangi hal ini maka digunakan rangkaian GUARD seperti pada gambar dibawah ini :



R_1 dan R_2 adalah tahanan bocor

R_1 dipararel dengan R_P

R_2 dipararel dengan R_G (tahanan galvanometer)

Sehingga :

$R_1 \gg R_2$ efek pararel ini tidak mempengaruhi sehingga tahanan pararel dianggap sama dengan R_P .

$R_2 \gg R_G$ dianggap sama dengan R_G

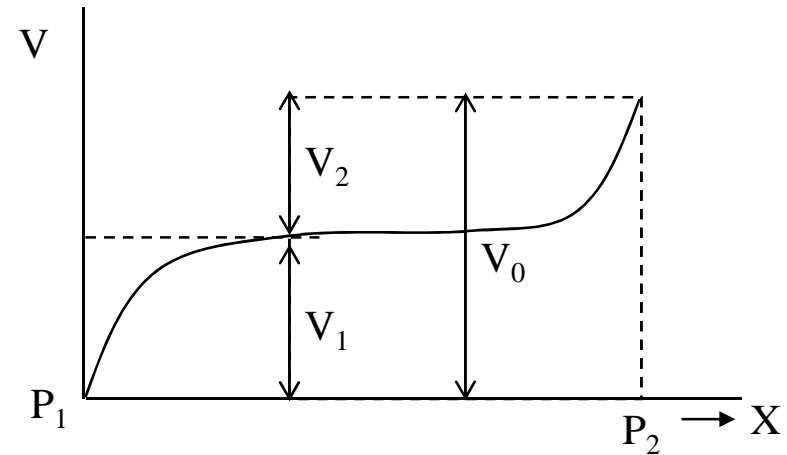
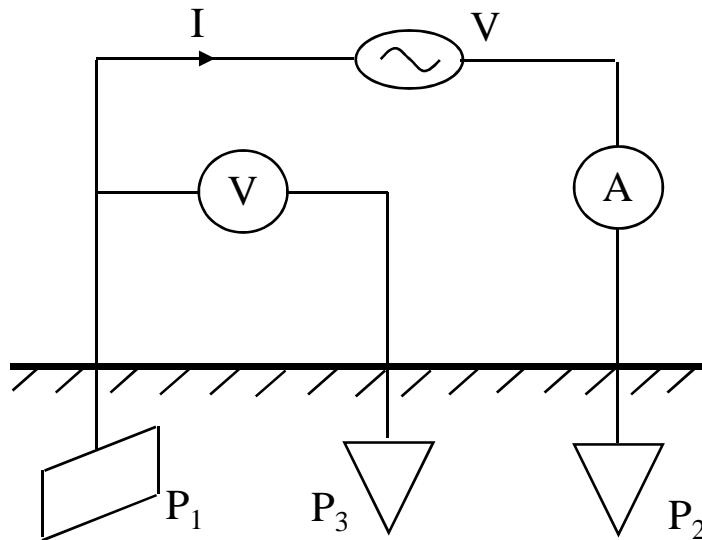
Maka dalam keadaan setimbang

$$R_Q R_S = R_P R_X$$

$$R_x = \frac{R_Q \cdot R_S}{R_S}$$

Mengukur Tahanan Pentanahan

Digunakan metode tegangan jatuh (Voltage-drop)



Tegangan antara P_1 dan $P_2 = V_0$; jarak P_1 ke $P_2 > 10$ meter, P_3 terletak dekat P_1 atau P_2 , maka potensial antara P_1 dan P_2 naiknya sangat cepat (lihat grafik). Jika P_3 diletakkan pada potensial konstan (P_3 terletak jauh dari P_1 dan P_2) maka;

$$V_{P_1P_2} = V_1 \text{ dan } V_{P_3P_2} = V_2$$

Maka tahanan-tahanan pentanahan diberikan adalah :

$$R_1 = \frac{V_1}{I} \text{ dan } R_2 = \frac{V_2}{I}$$

Contoh :

1. Sebuah ampere-meter menunjukkan arus sebesar 10 A, sedang accuracy +1%, maka harga yang sebenarnya dari pada arus yang diukur :
 $100 - 1/100 \times 10 = 9,9 \text{ A}$
2. Sebuah Volt-meter mempunyai accuracy 2 % pada skala penuh. Bila range yang digunakan 300 volt; sedang jarum penunjuk menunjukkan 150 volt, maka accuracy:
 $(300/150) \times 2\% = 4\%$

Menjumlah / mengurangi dua hasil pengukuran

$$Y = U + V$$

U = hasil pengukuran dengan kesalahan U

V = hasil pengukuran dengan kesalahan V

Bila Y adalah Y, maka

$$Y + \Delta Y = U + \Delta U + V + \Delta V$$

$$\frac{Y - \Delta Y}{2} = \frac{U - \Delta U + V - \Delta V}{2} = 2(U + V)$$

Kesalahan relatifnya :

$$\frac{\partial Y}{Y} = \pm \frac{\partial U + \partial V}{Y} = \pm \frac{\partial U + \partial V}{U + V}$$

Hasil bagi dari dua pengukuran

$$Y = \frac{U}{V}$$

$$Y + \partial Y = \frac{U + \partial U}{V - \partial V}$$

$$Y + \partial Y = \frac{U + \partial U}{V - \partial V} \times \frac{V + \partial V}{V + \partial V} = \frac{UV + U\partial V + V\partial U + \partial U\partial V}{V^2 - \partial V^2}$$

dengan mengabaikan $\partial U \partial V$, ∂V^2 , maka

$$Y + \partial Y = \frac{UV + U\partial V + V\partial U}{V^2} = \frac{U}{V} + \frac{U\partial V + V\partial U}{V^2}$$

$$\partial V = \frac{U\partial V}{V^2} + \frac{\partial U}{V}$$

$$\frac{\partial Y}{Y} = \frac{\frac{U\partial V}{V^2} + \frac{\partial U}{V}}{\frac{U}{V}}$$

Kesalahan relatifnya

$$\frac{\partial Y}{Y} = \frac{\partial V}{V} + \frac{\partial U}{U}$$

a. Elektroda Batang Yang ditanam Vertikal

$$R = \frac{\rho}{2\pi L} \left(\ln \frac{4L}{a} - 1 \right) (\Omega)$$

Untuk n batang pentanahan berlaku persamaan sbb :

$$R_n = \frac{\eta R}{n} (\Omega)$$

Keterangan :

R = Tahanan Pentanahan ()

= Tahanan jenis tanah (-m)

L = Panjang elektroda pentanahan (m)

a = Jari-jari elektroda pentanahan (m)

= koefisien kombinasi

(tergantung jarak masing-masing rod)

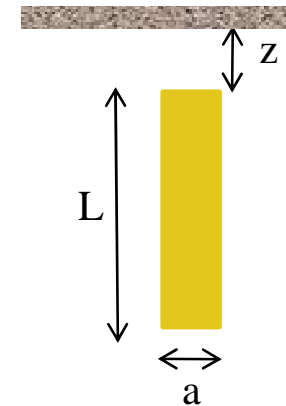
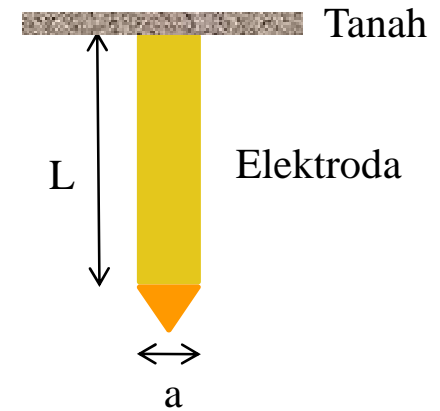
n = Banyak elektroda pentanahan

z = Jarak ujung alas batang elektroda dg permukaan tanah

Jarak antara (m)	0,5	1	2	3	4	5
Koefisien kombinasi	1,35	1,20	1,15	1,10	1,05	1,0

Bila elektroda tidak pas di permukaan tanah maka persamaan yang digunakan :

$$R = \frac{\rho}{2\pi L} \left(\ln \frac{4L}{a} - 1 + \ln \frac{1 + z/L}{1 + 2z/L} + \frac{z}{L} \ln \frac{4z/L + 4(z/L)^2}{1 + 4z/L + 4(z/L)^2} \right) (\Omega)$$



b. Dua (2) Elektroda Batang Yang ditanam Vertikal

$$R = \frac{\rho}{2\pi L} \left(\ln \frac{4L}{a} - 1 + \ln \left(\frac{2L + 2^2}{s} \right) + \frac{2}{2L} - \frac{s^2 + 4L^2}{2L} \right) (\Omega)$$

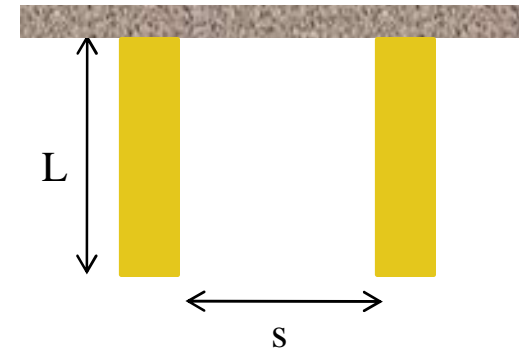
s = jarak antara kedua elektroda

Jika $s > L$ maka :

$$R = \frac{\rho}{4\pi L} \left(\ln \frac{4L}{a} - 1 \right) + \frac{\rho}{4\pi s} \left(1 - \frac{L^2}{3s^2} + \frac{2L^4}{5s^4} \dots \right) (\Omega)$$

Jika $L > s$ maka :

$$R = \frac{\rho}{4\pi L} \left(\ln \frac{4L}{a} + \ln \frac{4L}{s} - 2 + \frac{s}{2L} - \frac{s^2}{16L^2} + \frac{s^4}{512L^4} + \dots \right) (\Omega)$$



c. Sistem Pentanahan Bentuk Pelat

$$R = \frac{\rho}{4\pi L} \left(\ln \frac{4L}{a} + \frac{a^2 - \pi ab}{a(a+b)^2} \ln \frac{4L}{s} - 1 + \frac{s}{2L} - \frac{s^2}{16L^2} + \frac{s^4}{512L^4} \right) (\Omega)$$

Dimana :

L = (s+a) panjang elektroda pentanahan (m)

a = Panjang sisi pelat tegak lurus permukaan tanah (m)

b = panjang sisi pelat sejajar permukaan tanah (m)

s = jarak pelat dari permukaan tanah

d. Sistem Pentanahan Bentuk Grid

Pentanahan ini dilakukan dengan menanamkan beberapa elektroda (rod) tegak lurus dengan permukaan tanah, akan memerlukan batang elektroda untuk menghubungkan dengan ground bus, maka susunan tersebut akan membentuk grid. Perhitungan tahanan pentanahan dengan sistem grid adalah sbb:

$$R_g = \rho \left[\frac{1}{L} + \frac{1}{\sqrt{20A}} \left(1 + \frac{1}{1 + h\sqrt{20/A}} \right) \right] (\Omega)$$

Dimana :

L = Panjang keseluruhan rod (m)

A = Luas Grid (m)

h = Dalam penanaman (m)
= tahanan jenis tanah

Rg = tahanan pentanahan ()

e. Pentanahan Dengan Satu Elektroda Horizontal

$$R = \frac{\rho}{4\pi L} \left(\ln \frac{4L}{a} + \ln \frac{4L}{d} - 2 + \frac{s}{2L} - \frac{s^2}{16L^2} + \frac{s^4}{512L^4} + \dots \right) (\Omega)$$

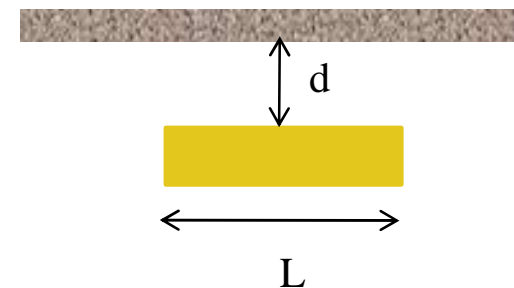
Dimana :

L = Panjang elektroda(m)

a = diameter konduktor (m)

h = Dalam penanaman (m)

d = jarak elektroda dari permukaan tanah (m)

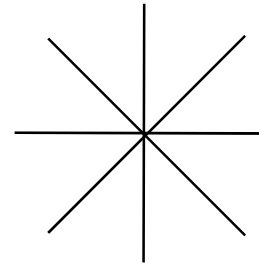


f. Pentanahan Bentuk Radial

Merupakan susunan pentanahan yang ditanam sejajar permukaan tanah dan berpotngan secara radial.

$$R = \frac{\rho}{\pi n L} \left(\ln \frac{2L}{a} - 1 + N(n) \right) \quad \text{dengan,}$$

$$N(n) = \sum_{m=1}^{n-1} \ln \frac{1 + \sin\left(\frac{\pi m}{n}\right)}{\sin\left(\frac{\pi m}{n}\right)}$$



Dimana :

- L = Panjang elektroda(m)
- a = jari-jari diameter (m)
- h = Dalam penanaman (m)
- n = Banyak lengan elektroda (m)
- m = 1,2,3, ... , n-1

g. Pentanahan Bentuk Cincin

Pentanahan dengan menanamkan elektroda sejajar berbentuk cincin (lingkaran) sejajar permukaan tanah.

$$R = \frac{\rho}{\pi L} \ln 1,27 \frac{L}{\sqrt{2 a d}}$$

Dimana,

- a = jari-jari cincin (m)
- d = kedalaman pentanahan

