



## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA.

#### 2.1 Gardu Distribusi<sup>[1]</sup>

Gardu Distribusi tenaga listrik adalah suatu bangunan gardu listrik yang dipasok dengan tegangan menengah 20 kV dari saluran kabel tegangan menengah atau saluran udara tegangan menengah. Berisi atau terdiri dari Instalasi Perlengkapan Hubung Bagi Tegangan Menengah (PHB-TM), Transformator Distribusi (TD) dan Perlengkapan Hubung Bagi Tegangan Rendah (PHB-TR) untuk memasok kebutuhan tenaga listrik bagi pelanggan baik dengan tegangan Menengah (TM 20 kV) maupun Tegangan Rendah (TR 220/380V).

#### 2.2 Sistem Pentanahan<sup>[2]</sup>

Sistem pentanahan mulai dikenal pada tahun 1900. Sebelumnya sistem-sistem tenaga listrik tidak diketanahkan karena ukurannya masih kecil dan tidak membahayakan. Namun setelah sistem-sistem tenaga listrik berkembang semakin besar dengan tegangan yang semakin tinggi dan jarak jangkauan semakin jauh, baru diperlukan sistem pentanahan. Kalau tidak, hal ini bisa menimbulkan potensi bahaya listrik yang sangat tinggi, baik bagi manusia, peralatan dan sistem pelayanannya sendiri.

Sistem pentanahan adalah sistem hubungan penghantar yang menghubungkan sistem, badan peralatan dan instalasi dengan bumi/tanah sehingga dapat mengamankan manusia dari sengatan listrik, dan mengamankan komponen-komponen instalasi dari bahaya tegangan/ arus abnormal. Oleh karena itu, sistem pentanahan menjadi bagian esensial dari sistem tenaga listrik. Pentanahan tidak terbatas pada sistem tenaga saja, namun mencakup juga sistem peralatan elektronik, seperti telekomunikasi, komputer maupun kontrol

---

<sup>1</sup> Bambang Soeroso, *Identifikasi Gardu Distribusi Tenaga Listrik Di Kota Manado Berbasis Sistem Informasi Geografis*, (Manado : E-Journal Teknik Elektro dan Komputer, 2016), hlm.2

<sup>2</sup> Sumardjati, Prih dkk. *Teknik Pemanfaatan Tenaga Listrik Jilid 1*. Hal 159



### 2.3 Syarat-syarat Sistem Pentanahan<sup>[3]</sup>

Agar sistem pentanahan dapat bekerja efektif, harus memenuhi persyaratan-persyaratan sebagai berikut :

- a. Membuat jalur impedansi rendah ke tanah untuk pengamanan personil dan peralatan, menggunakan rangkaian yang efektif.
- b. Dapat melawan dan menyebarkan gangguan berulang dan arus akibat surja hubung ( *surge currents* ).
- c. Menggunakan bahan tahan korosi terhadap berbagai kondisi kimiawi tanah, untuk menyakinkan kontinuitas penampilannya sepanjang umur peralatan yang dilindungi.
- d. Menggunakan sistem mekanik yang kuat namun mudah dalam pelayanan.

### 2.4 Fungsi dan Tujuan pentanahan

Fungsi pentanahan adalah untuk mengalirkan arus listrik ke dalam tanah melalui suatu elektroda tanah yang di tanam didalam tanah jika terjadi suatu gangguan, disamping itu berfungsi sebagai pengaman manusia dan listrik.

Adapun tujuan pentanahan suatu tenaga listrik secara umum adalah sebagai berikut : <sup>[4]</sup>

1. Menjamin keselamatan orang dari sengatan listrik baik dalam keadaan normal atau tidak
2. Menjamin kerja peralatan listrik/elektronik;
3. Mencegah kerusakan peralatan listrik/elektronik;
4. Menyalurkan energi serangan petir ke tanah;
5. Menstabilkan tegangan dan memperkecil kemungkinan terjadinya flashover ketika terjadi transient;
6. Mengalihkan energi RF liar dari peralatan-peralatan seperti: audio, video, kontrol, dan komputer.

---

<sup>3</sup> A.S, Pabla & Ir. Abdul Hadi. 1991. *Sistem Distribusi Tenaga Listrik*. Hal 154

<sup>4</sup> Sumardjati, Prih dkk. *Teknik Pemanfaatan Tenaga Listrik Jilid 1*. Hal 159

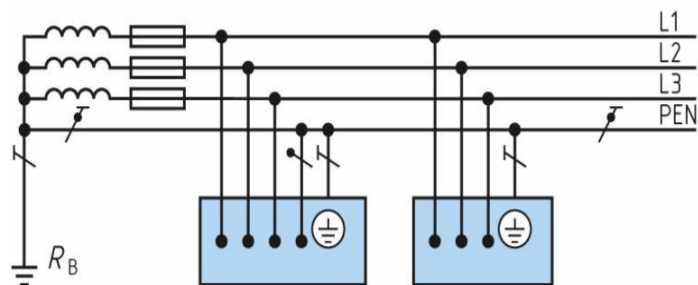
## 2.5 Jenis Sistem Pentanahan<sup>[5]</sup>

Ada bermacam-macam pentanahan sistem. Antara satu dan lainnya mempunyai kelebihan dan kekurangan masing. Bahasan berikut ini tidak dimaksudkan membahas kekurangan dan kelebihan metoda tersebut, namun lebih menitikberatkan pada macam-macam pentanahan titik netral yang umum digunakan. Jenis pentanahan sistem akan menentukan skema proteksinya, oleh karena itu, jenis pentanahan ini sangat penting diketahui.

Ada lima macam sistem pentanahan yaitu:

### 2.5.1 TN-C (Terra Neutral-Combined): Saluran Tanah dan Netral-Disatukan

Pada sistem ini saluran netral dan saluran pengaman disatukan pada sistem secara keseluruhan. Semua bagian sistem mempunyai saluran PEN yang merupakan kombinasi antara saluran N dan PE. Disini seluruh bagian sistem mempunyai saluran PEN yang sama.



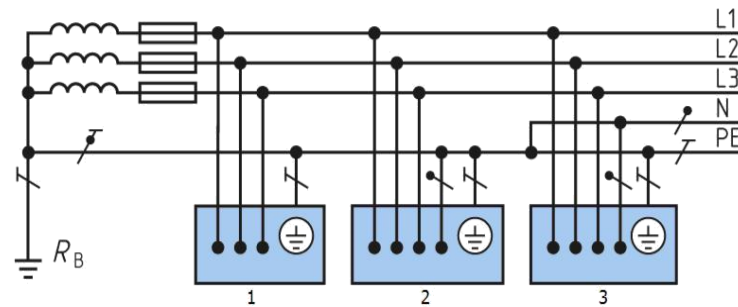
Gambar 2.1 Saluran Tanah dan Netral disatukan (TN-C)

### 2.5.2 TN-C-S (Terra Neutral-Combined-Separated): Saluran Tanah dan Netral-disatukan dan dipisah

Pada sistem ini saluran netral dan saluran pengaman dijadikan menjadi satu saluran pada sebagian sistem dan terpisah pada sebagian sistem yang lain. Di sini terlihat bahwa bagian sistem 1 dan 2 mempunyai satu hantaran PEN

<sup>5</sup>Ibid., Hal 159-162

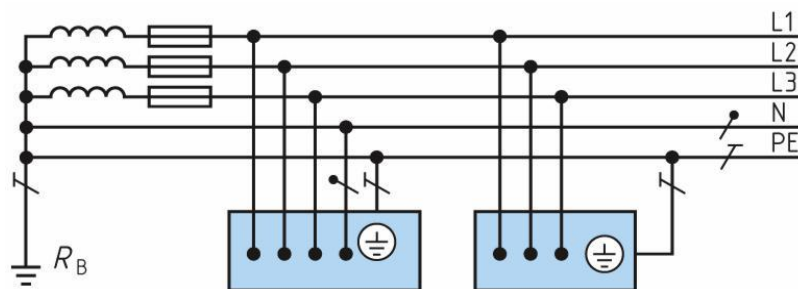
(combined). Sedangkan pada bagian sistem 3 menggunakan dua hantaran, N dan PE secara terpisah (separated).



Gambar 2.2 Saluran Tanah dan Netral disatukan pada sebagian sistem (TN-C-S)

### 2.5.3 TN-S (Terra Neutral-Separated): Saluran Tanah dan Netral-dipisah

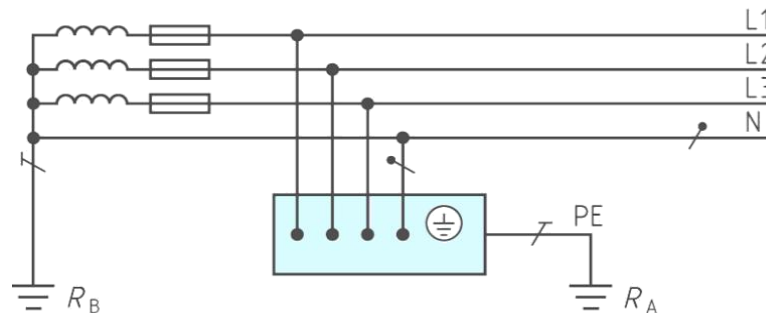
Pada sistem ini saluran netral dan saluran pengaman terdapat pada sistem secara keseluruhan. Jadi semua sistem mempunyai dua saluran N dan PE secara tersendiri (separated).



Gambar 2.3 Saluran Tanah dan Netral dipisah (TN-S)

### 2.5.4 TT (Terra Terra) system: Saluran Tanah dan Tanah

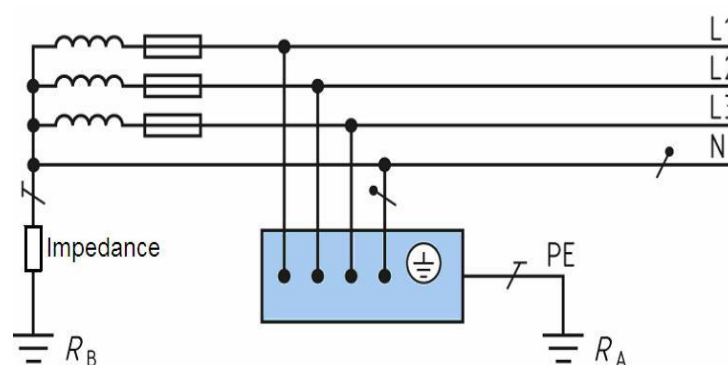
Sistem yang titik netralnya disambung langsung ke tanah, namun bagian-bagian instalasi yang konduktif disambungkan ke elektroda pentanahan yang berbeda (berdiri sendiri). Dari gambar di bawah ini terlihat bahwa pentanahan peralatan dilakukan melalui sistem pentanahan yang berbeda dengan pentanahan titik netral.



Gambar 2.4 Saluran Tanah Sistem dan Saluran Bagian Sistem Terpisah (TT)

### 2.5.5 IT (Impedance Terra) System: Saluran Tanah melalui Impedansi

Sistem rangkaian tidak mempunyai hubungan langsung ke tanah namun melalui suatu impedansi, sedangkan bagian konduktif instalasi dihubungkan langsung ke elektroda pentanahan secara terpisah. Sistem ini juga disebut sistem pentanahan impedansi. Ada beberapa jenis sambungan titik netral secara tidak langsung ini, yaitu melalui reaktansi, tahanan dan kumparan petersen. Antara ketiga jenis media sambungan ini mempunyai kelebihan dan kekurangan. Namun, secara teknis jenis sambungan kumparan petersen yang mempunyai kinerja terbaik. Permasalahannya adalah harganya yang mahal.<sup>[3]</sup>



Gambar 2.5 Saluran Tanah Melalui Impedansi (IT)



## 2.6 Peralatan Pentanahan<sup>[6]</sup>

Dalam keadaan normal bagian bagian peralatan listrik yang terbuat dari bahan konduktor atau sejenis logam penghantar tidak boleh ada peralatan tegangan dengan bumi, karena bila terjadi hubung singkat atau kejadian kegagalan isolasi terhadap bagian badan atau kerangka peralatan listrik maka Antara bagian badan peralatan dengan bumi terdapat perbedaan tegangan. Perbedaan tegangan ini sangat membahayakan konsumen khususnya tenaga kerja yang menangani peralatan tersebut.

Untuk menangani permasalahan ini perlu di upayakan menyamakan tegangan tegangan peralatan dengan bumi dengan jalan menghubungkan bagian bagian kerangka peralatan dengan sistem pentanahan. Pentanahan peralatan pada umumnya menggunakan dua macam sistem pentanahan yaitu sistem *grid* ( *horizontal* ) dan sistem *rod* ( *vertical* )

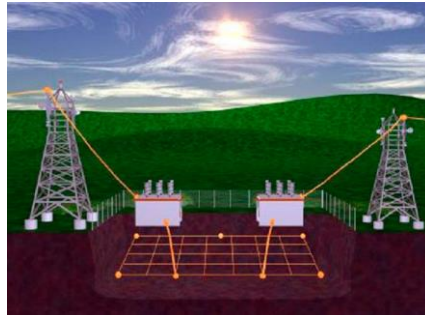
### 1. Pentanahan *Grid* ( Horizontal )

Pada sistem ini batang batang elektroda ditahan sejajar dibawah permukaan tanah, batang batang ini terhubung satu sama lain. Dengan cara ini konduktor yang ditanam banyak sekali, maka bentuknya mendekati bentuk plat dan ini merupakan bentuk maksimum atau yang mempunyai harga tahanan paling luas daerah tertentu, tetapi bentuk ini tidak efisien / mahal.

Pentanahan *grid* umumnya konduktor yang ditanam sejajar atau dengan dan lainnya pada kedalaman beberapa puluh senti meter didalam tanah. Untuk lebih memperkecil harga tahanan pentanahannya harus diperluas daerah pentanahan karena cara ini lebih mudah bila dibandingkan dengan cara memperdalam konduktor.

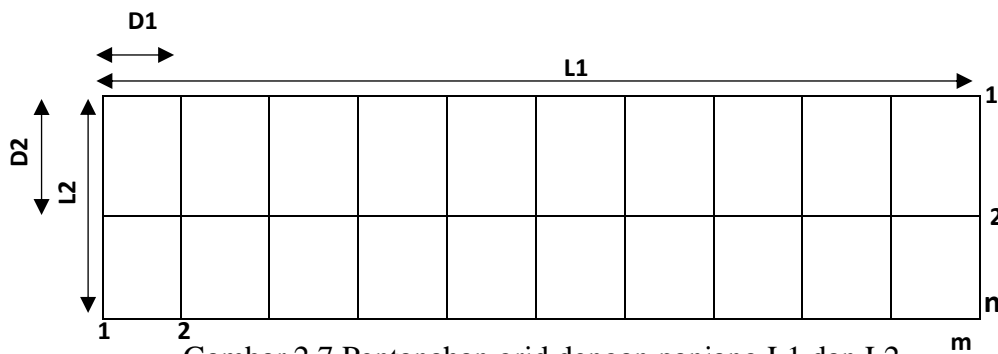
---

<sup>6</sup> Aslimeri, dkk. 2008. *Teknik Transmisi Tenaga Listrik* Jilid 2. Hal 154



Gambar 2.6 Pentanahan Grid ( Horizontal )

Untuk menentukan panjang konduktor pentanahan grid dapat dirumuskan dengan rumus yang tertulis sebagai berikut :



Gambar 2.7 Pentanahan grid dengan panjang L1 dan L2

$$L_c = L_1 \left( \frac{L_2}{D_2} + 1 \right) + L_2 \cdot m \dots \dots \dots (2.1)^{[7]}$$

Dimana :

$L_c$  = Panjang total konduktor grid

$L_1$  = Panjang konduktor grid

$L_2$  = Lebar Konduktor

$D_2$  = Jarak antar konduktor sisi lebar

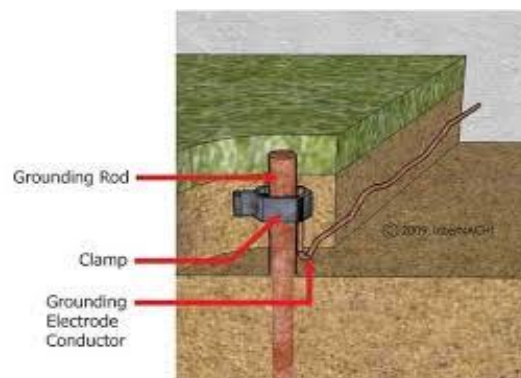
$m$  = jumlah konduktor parallel sisi lebar

$n$  = jumlah konduktor parallel sisi Panjang

<sup>7</sup> Andisyofian. Sistem pentanahan grid pada gardu induk PLTU teluk sirih, Volume.14 No.1, Februari 2013, hal.40.

## 2. Pentanahan Rod

Pentanahan *rod* yaitu sistem pentanahan yang menanamkan elektroda pentanahan tegak lurus di permukaan tanah, fungsinya hanya untuk mengurangi atau memperkecil tahanan pentanahan, maka jumlah penanaman batang elektroda pentanahan dapat diperbanyak. Bila dilakukan penanaman paralel elektroda yang lebih banyak, maka tahanan pentanahan akan lebih kecil dan distribusi tegangan akan rata. Bila jarak antara konduktor makin pendek dan jumlah konduktor yang ditanam makin banyak, maka akan semakin kecil konduktivitas dari masing masing konduktor.



Gambar 2.8 Pentanahan Rod

### 2.7 Tahanan Jenis Tanah<sup>[8]</sup>

Tahanan jenis tanah dipengaruhi oleh berbagai macam faktor, oleh karena tahanan jenis tidak dapat diberikan sebagai suatu nilai yang ditetapkan.

Faktor keseimbangan antara tahanan pentanahan dan kapasitansi disekeliling adalah jenis tanah yang dipresentasikan dengan ( $\rho$ ). Harga jenis tanah pada daerah ke dalam yang terbatas tergantung dari beberapa faktor daya, yaitu :

- a. Tanah liat, berpasir, berbatu dll
- b. Beralapis-lapis dengan tahanan jenis beralinan
- c. Kelembapan tanah

<sup>8</sup> Hutahuruk, T.S. 1991. *Pengetanahan Netral Sistem Tenaga & Pengetanahan Peralatan*. Hal 141





d. *Temperature*

Tahanan jenis tanah bervariasi dari 500-50.000 ohm/cm<sup>3</sup>. Harga tahanan tanah pada kedalaman yang terbatas sangat tergantung dengan keadaan cuaca. Untuk mendapatkan tahanan jenis tanah rata-rata biasanya tahanan tanah juga tergantung dari tingginya permukaan yang konstan.

Table 2.1 Tahanan Jenis Tanah

No.	Sifat Tanah	Spesifikasi Tanah ( Ohm/m )
1.	Tanah Rawa	30
2.	Tanah Liat dan tanah ladang	100
3.	Tanah pasir basah	150
4.	Kerikil basah	200
5.	Pasir dan kerikil kering	500
6.	Tanah berbatu	1000

## 2.8 Komponen Pentanahan

Komponen sistem pentanahan secara garis besar terdiri dari dua bagian yaitu hantaran penghubung dan elektroda pentanahan.

### 1. Hantaran Penghubung

Seperti yang kita ketahui pada instalasi listrik suatu saluran pengantar yang menghubungkan titik kontak pada badan atau rangka peralatan listrik dengan elektroda bumi, Sedangkan, generator atau transformator yaitu menghubungkan titik netralnya dengan elektroda pentanahan. Biasanya dengan menggunakan kawat tembaga pilin atau BC

### 2. Elektroda Pentanahan<sup>[9]</sup>

Elektroda pentanahan adalah sebah atau sekelompok penghantar yang mempunyai kontak yang erat dengan bumi dan mengentrai hubungannya dengan

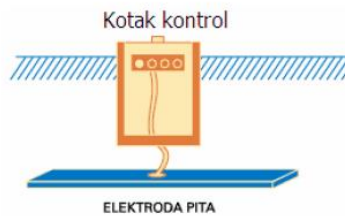
<sup>9</sup> Sumardjati, Prih dkk. *Teknik Pemanfaatan Tenaga Listrik Jilid 1*. Hal 167-169



listrik dan bumi. Elektroda pentanahan merupakan bagian yang langsung menyebarkan arus kedalam bumi. Ada beberapa macam elektroda pentanahan yang biasa dipakai, diantaranya elektroda pentanahan pita dan batang.

### 1. Elektroda Pita

Elektroda pita dibuat dari baja yang dihipersink dengan penampang 100 m<sup>2</sup>, tebal 3 mm. jika dibuat dengan tembaga penampangnya 500 mm<sup>2</sup>. elektroda ini ditanam 0,5 meter sampai 1 meter. Elektroda pita ini terdiri dari tiga macam yaitu bentuk , bentuk cincin, dan bentuk *maschen*.



**Gambar 2.9** Elektroda Pita

Contoh rumus perhitungan tahanan pentanahan :

$$R_G = R_w = \frac{\rho}{\pi Lw} \left[ \ln \left( \frac{2Lw}{\sqrt{dwZw}} \right) + \frac{1,4 Lw}{\sqrt{Aw}} - 5,6 \right] \dots\dots\dots (2.2)$$

Dimana :

$R_G = R_w$  = Tahanan dengan kisi-kisi (*grid*) kawat ( Ohm )

$\rho$  = Tahanan jenis tanah ( Ohm-meter )

$dw$  = diameter kawat ( Ohm )

$Lw$  = Panjang total *grid* kawat ( meter )

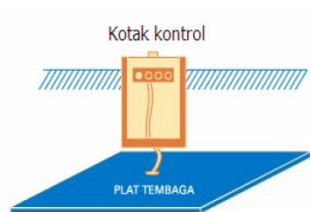
$Zw$  = Kedalaman penanaman ( meter )

$Aw$  = Luasan yang dicakup oleh *grid* (meter<sup>2</sup>)



## 2. Elektroda Pelat

Elektroda pelat terbuat dari besi dengan ukuran minimum tebal 3 mm, luas 0,5 m<sup>2</sup> - 1 m<sup>2</sup> atau pelat tembaga dengan tebal 2mm, luas 0,5m<sup>2</sup> - 1m<sup>2</sup> yang ditanam secara vertikal dengan sisi atas ±1 meter dibawah permukaan tanah. Semakin banyak jumlah plat diparalelkan dalam pentanahan itu, dan pelat yang terpasang itu jarak satu dengan yang lain sedikit 3 meter.



Gambar 2.10 Elektroda Plat

Contoh rumus perhitungan tahanan pentanahan elektroda pelat tunggal:

$$R_G = R_p = \frac{\rho}{2\pi L_p} \left[ \ln \left( \frac{8 W_p}{\sqrt{0,5 W_p + T_p}} \right) - 1 \right] \dots\dots\dots (2.3)$$

$R_G = R_p$  = Tahanan pentanahan pelat ( Ohm )

$\rho$  = Tahanan jenis tanah ( Ohm-meter )

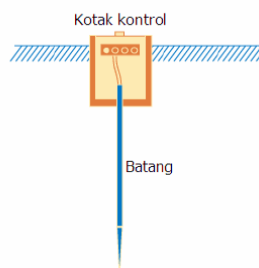
$W_p$  = Lebar pelat ( meter )

$L_p$  = Panjang pelat ( meter )

$T_p$  = Tebal pelat ( meter )

## 3. Elektroda Batang

Elektroda batang terbuat dari batang atau pipa logam yang ditanam vertikal didalam tanah. Biasanya dibuat dari bahan tembaga ataupun *stainless stell*. Elektroda batang ini berbentuk pita atau batang baja profil maupun logam, lain yang dipasang tegal lurus ke dalam tanah dengan kedalaman antara 1-10 meter.



Gambar 2.11 Elektroda Batang

Rumus tahanan pentanahan untuk elektroda batang tunggal :

$$R_G = R_R = \frac{\rho}{2\pi L_R} \left[ \ln \left( \frac{4L_R}{A_R} \right) - 1 \right] \dots\dots\dots (2.4)$$

Dimana :

$R_G = R_R$  = Tahanan pentanahan untuk batang tunggal ( Ohm )

$\rho$  = Tahanan jenis tanah ( Ohm-meter )

$L_R$  = Panjang elektroda ( meter )

$A_R$  = Diameter elektroda ( meter )

## 2.9 Sifat-sifat dari sebuah elektroda tanah<sup>10</sup>

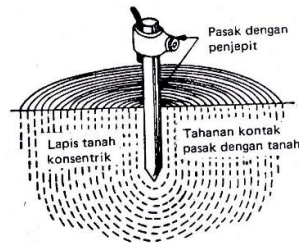
Hambatan arus melewati sistem elektroda tanah mempunyai tiga komponen, yaitu :

- a. Tahanan pasaknya sendiri dan sambungan-sambungannya.
- b. Tahanan kontak antara pasak dengan tanah sekitar.
- c. Tahanan tanah di sekelilingnya.

Pasak-pasak tanah, batang-batang logam, struktur dan peralatan lain biasa digunakan untuk elektroda tanah. Elektroda-elektroda ini umumnya besar dan penampangnya sedemikian, sehingga tahanannya dapat diabaikan terhadap tahanan keseluruhan system pentanahan. Pasak dengan tahanan seragam yang ditanam ke tanah akan menghantarkan arus ke semua jurusan. Marilah kita tinjau suatu

<sup>10</sup> Pabla, A. S. Hadi, Abdul, Ir. 1991. "Sistem Distribusi Daya Listrik". Hal 158-159

elektroda (pasak) yang ditanam di tanah yang terdiri atas lapisan-lapisan tanah dengan kekebalan yang sama.



Gambar 2.12 Komponen-komponen tahanan elektroda tanah

Lapisan tanah terdekat dengan pasak dengan sendirinya memiliki permukaan paling sempit, sehingga memberikan tahanan terbesar. Lapisan berikutnya karena lebih luas, memberikan tahanan yang lebih kecil. Dari ke 3 komponen “tahanan” tahanan tanah merupakan besaran yang paling kritis dan saling sulit dihitung ataupun diatasi.

- Pengaruh ukuran pasak terhadap tahanan

Apabila pasak ditanam lebih dalam ketanah maka tahanan akan berkurang. Secara umum dapat dikatakan, dua kali lipat lebih dalam tahanan berkurang 40% (gambar 1.4a). Namun, bertambahnya diameter pasak secara material tidak akan mengurangi tahanan. Dua kali lipat diameternya misalnya, hanya mengurangi besarnya tahanan kurang dari 10%.

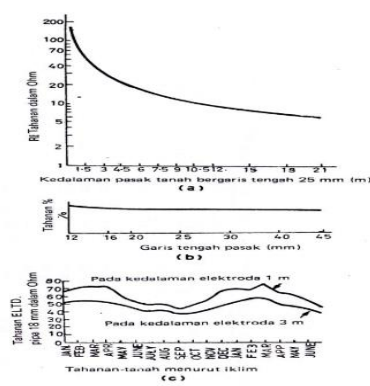
- Pengaruh tahanan tanah terhadap tahanan elektroda

Rumus *Dwight* menunjukkan, bahwa tahanan elektroda pentanahan ke tanah tidak hanya tergantung pada kedalaman dan luas permukaan elektroda, tetapi juga pada tahanan tanah. Tahanan tanah merupakan faktor kunci yang menentukan tahanan elektroda dan pada kedalaman berapa pasak harus ditanam agar peroleh tahanan yang rendah.

Tahanan tanah sangat bervariasi di berbagai tempat dan berubah menurut iklim. Tahanan tanah ini terutama ditentukan oleh kandungan elektrolit



didalamnya, kandungan air, mineral-mineral dan garam-garam. Tanah tinggi mempunyai tahanan tinggi, tetapi tanah basah memiliki tahanan tinggi apabila tidak mengandung garam yang dapat larut. Karena tahanan tanah berkaitan langsung dengan kandungan air dan suhu, maka dapat saja diasumsikan bahwa tahanan pentanahan suatu system akan berubah sesuai perubahan tiap tahunnya. Variasi-variasi tersebut dapat dilihat pada Gambar 2.13



Gambar 2.13 Variasi tahanan-tahanan tanah : (a) terhadap kedalaman; (b) terhadap garis tengah pasak; (c) terhadap iklim.

## 2.10 Luas Penampang Elektroda Pentanahan<sup>[11]</sup>

Ukuran elektroda pentanahan akan menentukan besar tahanan pentanahan. berikut ini adalah tabel yang memuat ukuran-ukuran elektroda pentanahan yang umum digunakan dalam sistem pentanahan.

Tabel 2.2 dibawah ini dapat digunakan sebagai petunjuk tentang pemilihan jenis, bahan dan luas penampang elektroda pentanahan.

<sup>11</sup> Sumardjati, Prih dkk. *Pemanfaatan Tenaga Listrik jilid 1*. Hal 170-171

Tabel 2.2 Luas penampang minimum elektroda pentanahan

Bahan jenis elektroda	Baja digalvanisasi dengan proses pemanasan	Baja berlapis tembaga	tembaga
Elektroda pita	Pipa baja 100 m <sup>2</sup> setebal minimum 3 mm Penghantar pilin 95 mm <sup>2</sup> (bukan kawat halus)	50 mm <sup>2</sup>	Pita tembaga 50 mm <sup>2</sup> minimum 2 mm Penghantar pilin 35mm <sup>2</sup> ( bukan kawat halus )
Elektroda batang	- Pipa baja 25 mm - Baja profil (mm) : L 65 x65x7, U 6,5 , T 6x50x3 - Batang profil lain yang setaraf	Baja berdiameter 15 mm dilapisi tembaga setebal 250 $\mu m$	
Elektroda plat	Pelat besi setebal 3 mm luas 0,5 m <sup>2</sup> sampai 1 m <sup>2</sup>		Plat tembaga tebal 2 mm <sup>2</sup> , luas 0,5m <sup>2</sup> sampai 1 m

### 2.11 Tahanan Pentanahan<sup>[12]</sup>

Pentanahan yang ideal untuk gardu induk yaitu kurang dari 1  $\Omega$  sedangkan untuk gardu distribusi kisaran 1  $\Omega$  sampai dengan 5  $\Omega$ .sebagai perkiraan pertama sebuah nilai minimum dari tahanan pentanahan gardu pada tanah yang seragam untuk lapisan pertama ( permukaan tanah ) saja dapat dihitung dengan persamaan :

$$R_g = \frac{\rho}{4} \sqrt{\frac{\pi}{A}} \dots\dots\dots (2.5)$$

<sup>12</sup> IEEE Guide for Safety in AC Substation Grounding Std 80-2000 hal 64-65



Dimana :

$R_g$  = Tahanan pentanahan pada gardu (  $\Omega$  )

$A$  = Luas Area Pentanahan Grid (  $m^2$  )

$\rho$  = Tahanan jenis tanah (  $\Omega$  )

Kemudian untuk lapisan kedua adanya gabungan antara Grid dan batang Rod untuk tanah yang seragam. Jumlah konduktor grid dan konduktor batang rod yang ditanam pada kedalaman tertentu sehingga diperoleh persamaan seperti dibawah ini menurut Laurent, P . G., 1951 dan Nieman ,J, 1952 :

$$R_g = \frac{\rho}{4} \sqrt{\frac{\pi}{A}} + \frac{\rho}{L_T} \dots\dots\dots (2.6)$$

Untuk menghitung panjang total dari Konduktor yang tertanam maka digunakan persamaan sebagai berikut :

$$L_T = L_C + L_R \dots\dots\dots (2.7)$$

Dimana :

$L_T$  = Panjang Total Dari Konduktor yang tertanam ( m )

$L_C$  = Panjang Total konduktor pentanahan grid


$L_R$  = Panjang Total konduktor pentanahan Rod

Menurut Sverak Selanjutnya dari persamaan diatas dimasukkan nilai efek kedalaman grid

$$R_g = \rho \left[ \frac{1}{L_T} + \frac{1}{\sqrt{20 \cdot A}} \left( 1 + \frac{1}{1+h\sqrt{\frac{20}{A}}} \right) \right] \dots\dots\dots (2.8)$$



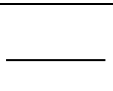
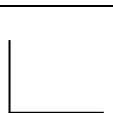
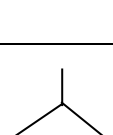
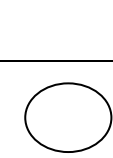
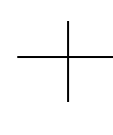
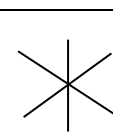
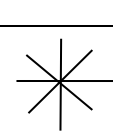
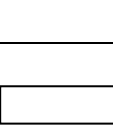

Dimana  $h$  = kedalaman penanaman konduktor ( m )

Tabel 2.3 Rumus-rumus Pendekatan untuk Menghitung Tahanan Tanah<sup>[13]</sup>

No	Gambar	Konfigurasi	Rumus
1.		Satu batang tanah, panjang L, radius a	$R = \frac{\rho}{2\pi L} \ln \left[ \frac{4L}{a} - 1 \right]$

<sup>13</sup> Hutahuruk, T.S. 1991. *Pengetanahan Netral Sistem Tenaga & Pengetanahan Peralatan*. Hal 145 & 148



2.		Dua batang tanah $s > L$ : Jarak $s$	$R = \frac{\rho}{4\pi L} \ln \left[ \frac{4L}{\alpha} - 1 \right] + \frac{\rho}{4\pi L} \left( 1 - \frac{L^2}{3s^2} - \frac{2L^4}{5s^4} - \dots \right)$
3.		Kawat horizontal panjang $2L$ , dalam $s/2$	$R = \frac{\rho}{4\pi L} \left[ \ln \left( \frac{4L}{s} \right) - 2 + \frac{s}{2L} - \frac{s^2}{16L^2} - \frac{s^4}{512L^4} - \dots \right]$
4.		Kawat siku-siku, panjang lengan $L$ , dalam $s/2$	$R = \frac{\rho}{4\pi L} \left[ \ln \left( \frac{4L}{\alpha} \right) + \ln \left( \frac{4L}{s} \right) - 2 + \frac{s}{2L} - \frac{s^2}{16L^2} + \frac{s^4}{512L^4} - \dots \right]$
5.		Kawat siku-siku, panjang lengan $L$ , dalam $s/2$	$R = \frac{\rho}{4\pi L} \left[ \ln \left( \frac{2L}{\alpha} \right) + \ln \left( \frac{2L}{s} \right) - 0,2373 + 0,2146 \left( \frac{s}{L} \right) + 0,1035 \left( \frac{s^2}{L^2} \right) - 0,0424 \left( \frac{s^4}{L^4} \right) - \dots \right]$
6.		Tiga titik bintang, panjang lengan $L$ , dalam $s/2$	$R = \frac{\rho}{6\pi L} \left[ \ln \left( \frac{2L}{\alpha} \right) + \ln \left( \frac{2L}{s} \right) - 1,071 + 0,209 \left( \frac{s}{L} \right) + 0,238 \left( \frac{s^2}{L^2} \right) - 0,054 \left( \frac{s^4}{L^4} \right) - \dots \right]$
7.		Cincin kawat, dia, cincin $D$ , diam kawat $R_d$ dalam $s/2$	$R = \frac{\rho}{2\pi^2 D} \left[ \ln \left( \frac{8D}{d} \right) + \ln \left( \frac{4D}{s} \right) \right]$
8.		Empat titik bintang, panjang lengan $L$ , dalam $s/2$	$R = \frac{\rho}{8\pi L} \left[ \ln \left( \frac{2L}{\alpha} \right) + \ln \left( \frac{2L}{s} \right) - 2,912 - 1,071 \left( \frac{s}{L} \right) + 0,645 \left( \frac{s^2}{L^2} \right) - 0,145 \left( \frac{s^4}{L^4} \right) - \dots \right]$
9.		Enam titik bintang, panjang lengan $L$ , dalam $s/2$	$R = \frac{\rho}{12\pi L} \left[ \ln \left( \frac{2L}{\alpha} \right) + \ln \left( \frac{2L}{s} \right) - 6,851 - 3,128 \left( \frac{s}{L} \right) + 1,758 \left( \frac{s^2}{L^2} \right) - 0,490 \left( \frac{s^4}{L^4} \right) - \dots \right]$
11.		Delapan titik bintang, panjang lengan $L$ , dalam $s/2$	$R = \frac{\rho}{16\pi L} \left[ \ln \left( \frac{2L}{\alpha} \right) + \ln \left( \frac{2L}{s} \right) - 10,98 + 5,51 \left( \frac{s}{L} \right) + 3,26 \left( \frac{s^2}{L^2} \right) - 1,17 \left( \frac{s^4}{L^4} \right) - \dots \right]$
		Pelat horizontal panjang $2L$ , $a \times b$ dalam $s/2$	$R = \frac{\rho}{4\pi L} \left[ \ln \left( \frac{4L}{\alpha} \right) + \frac{a^2 - \pi ab}{2(a+b)^2} + \ln \left( \frac{4L}{s} \right) - 1 \left( \frac{s^2}{2L} \right) - \left( \frac{s^2}{16L^2} \right) + \left( \frac{s^4}{512L^4} \right) - \dots \right]$
12.		Pelat bundar horizontal, radius $a$ , dalam $s/2$	$R = \frac{\rho}{8a} + \frac{\rho}{4\pi s} \left[ 1 - \frac{7a^2}{24s^2} + \frac{33a}{40s} - \dots \right]$



		Pelat bundar vertikal, radius a, dalam s/2	$R = \frac{\rho}{8a} + \frac{\rho}{4\pi s} \left[ 1 - \frac{7a^2}{24s^2} + \frac{99a}{320s} \dots \right]$
--	--	---	--

**2.12 Tahanan Elektroda Tanah<sup>14</sup>**

Besar tahanan dari berbagai elektroda tanah telah ditentukan oleh hasil-hasil:

Rumus Pentanahan :

$$R = \frac{\rho}{2\pi L} \left\{ \ln \left( \frac{4L}{\alpha} - 1 \right) \right\} \dots \dots \dots (2.9)$$

1. Dua pasak dipasang parallel.

$$\frac{\text{tahanan 2 pasak parallel}}{\text{tahanan pasak tunggal}} = \frac{1+x}{2} \dots \dots \dots (2.10)$$

Dimana  $x = \frac{l}{\left\{ \ln \left( \frac{48}{a} \right) \right\}} / d$ , d jarak antara 2 pasak paralel..... (2.11)

2. Tiga pasak parallel berbentuk segitiga sama sisi dengan sisi = d

$$\frac{\text{Tahanan 3 pasak parallel}}{\text{Tahanan pasak tunggal}} = \frac{1+2x}{3} \dots \dots \dots (2.12)$$

3. Pasak jamak tersusun dalam segi empat kosong atau segi empat terisi.

Apabila jumlah pasak adalah N, maka :

$$\frac{\text{Tahanan N pasak parallel}}{\text{Tahanan pasak tunggal}} = \frac{1+kx}{N} \dots \dots \dots (2.13)$$

Dimana :

$\alpha$  = Jari-jari elektroda pentanahan ( cm )

$\rho$  = Resistifitas tanah ( Ohm )

R = Tahanan pasak ke tanah ( Ohm )

L = Panjang pasak tanah ( m )

N = Banyaknya elektroda pentanahan

<sup>14</sup> Pabla,A. S. Hadi, Abdul, Ir.1991.“Sistem Distribusi Daya Listrik”. Hal 163-164

Dimana  $k$  adalah konstanta yang tergantung jumlah pasak, dapat dilihat tabel 2.4 dibawah ini : <sup>[15]</sup>

Tabel 2.4 harga konstanta pada jumlah pasak atau elektroda ( Pabla, 1981 : 164 )

Jumlah Pasak Sepanjang sisi-segi empat	Jumlah pasak seluruhnya	Harga K
Segi-empat terisi		
2	4	2.7071
3	8	4.2583
4	12	5.3939
5	16	6.0072
6	20	6.4633
7	24	6.8363
8	28	7.1479
9	32	7.4195
10	36	7.6551
Segi-Empat Kosong		
3	9	5.8917
4	16	8.5545
5	25	11.4371
6	36	14.0650
7	49	16.8933
8	64	19.5003
9	81	22.3069
10	100	24.9587

### 2.13 Pengujian Tahanan Pentanahan<sup>16</sup>

Seperti yang telah dibahas pada bagian sistem pentanahan, betapa penting sistem pentanahan baik dalam sistem tenaga listrik ac maupun dalam pentanahan peralatan untuk menghindari sengatan listrik bagi manusia, rusaknya peralatan dan terganggunya pelayanan sistem akibat gangguan tanah. Untuk menjamin sistem pentanahan memenuhi persyaratan perlu dilakukan pengujian. Pengujian ini sebenarnya adalah pengukuran tahanan elektroda pentanahan yang dilakukan setelah dilakukan pemasangan elektroda atau setelah perbaikan atau secara periodik

<sup>15</sup> Pabla, A. S. Hadi, Abdul, Ir. 1991. "Sistem Distribusi Daya Listrik". Hal 164

<sup>16</sup> Sumardjati, Prih dkk. *Pemanfaatan Tenaga Listrik jilid 1*. Hal 174-175



setiap tahun sekali. Hal ini harus dilakukan untuk memastikan tahanan pentanahan yang ada karena bekerjanya sistem pengaman arus lebih akan ditentukan oleh tahanan pentanahan ini. Pada saat ini telah banyak beredar di pasaran alat ukur tahanan pentanahan yang biasa disebut Earth Tester atau Ground Tester. Dari yang untuk beberapa fungsi sampai dengan yang banyak fungsi dan kompleks. Penunjukkan alat ukur ini ada yang analog ada pula yang digital dan dengan cara pengoperasian yang mudah serta aman. Untuk lingkungan kerja yang cukup luas, sangat disarankan untuk memiliki alat semacam ini.

### **2.13.1 Pengukuran Tahanan pentanahan (*Earth Tester*)<sup>17</sup>**

Ada berbagai macam instrument pengukur tanah pentanahan, salah satu contohnya adalah Earth Hi Tester. • Pengukuran normal (metoda 3 kutub) Langkah awal adalah memposisikan saklar terminal pada 3a, selanjutnya :

1. Cek tegangan baterai ! (Range saklar : BATT, aktifkan saklar / ON). Jarum harus dalam range BATT.
2. Cek tahanan pentanahan bantu (Range saklar : C & P, matikan saklar / OFF). Jarum harus dalam range P/C (lebih baik posisi jarum berada saklar 0).
3. Ukurlah tahanan pentanahan (Range saklar :  $\times 1\Omega$  ke  $\times 100\Omega$ ) dengan menekan tombol pengukuran dan memutar selektor, hingga diperoleh jarum pada galvanometer seimbang / menunjuk angka nol. hasil pengukuran adalah angka yang ditunjukkan pada selektor dikalikan dengan posisi range saklar ( $\times 1\Omega$ ) atau ( $\times 100\Omega$ ).<sup>[8]</sup> Pengukuran Metoda 3 Kutub

---

<sup>17</sup> lbit.,hal 174-175



Gambar 2.14 Pengukuran Tahanan Pentanahan

### 2.14 Alat Ukur Pentanahan

Dalam mengukur pentanahan tentunya diperlukan alat khusus mengukur pentanahan ada yang analog maupun digital. Salah satu alat ukur pentanahan ada yang analog maupun digital salah ukur pentanahan yang digunakan pada Stasiun LRT adalah KYORITSU 4105A *Earth Resistance Tester* memiliki berbagai fitur diantaranya :

1. Dapat mengukur tegangan tanah
2. Pengukuran arus 2 mA membatasi pengetesan resistansi tanah dengan pengaman arus bocor pada rangkaian yang sedang diukur.
3. Test *lead* tersedia sebagai aksesoris standar untuk sistem pengukuran sederhana dua kawat.
4. Fungsi data *hold*
5. Pengoperasian dengan baterai
6. Indikator tes baterai
7. Standar IEC / EN 61010-1, IEC 61557-5 CAT III 300V
8. Fungsi kalibrasi dengan test lead yang tersedia
9. Rentang pengukuran : 0,001 ohm hingga 99,99 k/ohm
10. Frekuensi : 41 Hz hingga 5,018 Hz
11. Resolusi : 0,001 ohm hingga 10 ohm
12. Tegangan : 16 hingga 32 VRMS



13. Perlindungan : IP53
14. Dimensi : 272x250x128 mm, berat: 3,2 kg
15. Pengukuran tahanan ground rod : 0,01 ohm hingga 100 k/ohm

Berikut adalah contoh gambar dari *Digital Earth Resistance Tester* berikut:



Gambar 2.15 *Digital Earth Resistance Tester*