



## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1 Gardu Distribusi

Gardu Distribusi merupakan suatu bangunan gardu listrik berisi atau terdiri dari instalasi Perlengkapan Tegangan Menengah (PHB-TM) dan Perlengkapan Hubung Bagi Tegangan Rendah (PHB-TR) untuk memasok kebutuhan tenaga listrik bagi para pelanggan baik Tegangan Menengah (TM 20 kV) maupun Tegangan Rendah (TR 220/380V).<sup>10</sup> Jenis perlengkapan hubung bagi tegangan menengah pada gardu distribusi berbeda sesuai dengan jenis konstruksi gardunya.

##### 2.1.1 Jenis-Jenis Gardu Distribusi

Secara garis besar gardu distribusi dibedakan menjadi 3 jenis yaitu jenis pemasangannya, jenis konstruksinya dan jenis penggunaannya. Menurut Jenis Pemasangannya ialah gardu pasangan luar dan gardu pasangan dalam. Menurut Jenis Konstruksinya ialah gardu beton, gardu tiang dan gardu kios. Dan menurut Jenis Penggunaannya ialah gardu pelanggan umum dan gardu pelanggan khusus. Terdapat juga jenis gardu distribusi yang memiliki fungsi berbeda dengan gardu distribusi pada umumnya yaitu gardu hubung.

Konstruksi gardu distribusi dirancang berdasarkan optimalisasi biaya terhadap maksud dan tujuan penggunaannya yang kadang kala harus disesuaikan dengan pmda setempat. Konstruksi yang digunakan difungsikan untuk menunjang dan mencapai kontinuitas pendistribusian pelayanan yang terjamin, mutu yang tinggi dan menjalin keselamatan bagi manusia.

##### A. Gardu Portal

Gardu Portal adalah gardu listrik jenis terbuka (*out-door*) dengan memakai konstruksi dua tiang atau lebih. Tempat kedudukan transformator sekurang-kurangnya 3 meter di atas tanah dan ditambahkan platform sebagai fasilitas kemudahan kerja teknisi operasi dan pemeliharaan.

---

<sup>10</sup> Ofriadi Makangiras. 2016. *Pemeliharaan Gardu Distribusi*. Manado: Politeknik Negeri Manado. Halaman 7



**Gambar 2.1** Gardu Portal

### **B. Gardu Cantol**

Gardu Cantol adalah tipe gardu distribusi jenis pasangan luar (*outdoor*) yang terpasang dengan konstruksi 1 tiang dan memiliki transformator yang terpasang jenis 3 phasa atau 1 phasa dengan tipe CSP (*Completely Self Protected Transformer*) yaitu peralatan switching dan proteksinya sudah terpasang lengkap dalam tangki transformator.



**Gambar 2.2** Gardu Cantol

### **C. Gardu Kios**

Gardu kios adalah bangunan prefabricated terbuat dari konstruksi baja, fiberglass atau kombinasinya, yang dapat dirangkai di lokasi rencana pembangunan gardu distribusi. Terdapat beberapa jenis konstruksi, yaitu kios kompak, kios modular dan kios bertingkat. Gardu ini dibangun ditempat-tempat yang tidak diperbolehkan membangun gardu beton.



**Gambar 2.3** Gardu Kios

#### **D. Gardu Beton**

Gardu beton adalah gardu distribusi tipe pasangan dalam, karena pada umumnya seluruh komponen utama instalasi yaitu transformator, peralatan *switching*, dan proteksi terangkai didalam bangunan sipil yang dirancang, dibangun dan difungsikan dengan konstruksi bangunan pelindung terbuat dari beton (*masonrywall building*).



**Gambar 2.4** Gardu Beton

### **2.2 Sistem Pentanahan**

Salah satu hal yang perlu diperhatikan dalam kehandalan beroperasinya sistem kelistrikan dan keamanan pada manusia yang berada disekitarnya adalah Sistem Pentanahan Tenaga Listrik. Sistem pentanahan adalah sistem hubungan penghantar yang menghubungkan sistem, badan peralatan dan instalasi dengan bumi atau tanah sehingga dapat mengamankan manusia dari sengatan listrik, dan mengamankan komponen-komponen instalasi dari bahaya tegangan atau arus



abnormal. Oleh karena itu, sistem pentanahan menjadi bagian esensial dari sistem tenaga listrik. Nilai Tahanan pentanahan pada suatu tempat berbeda – beda yang disebabkan oleh : komposisi tanah, kandungan air tanah, kelembapan tanah dan juga jenis tanah yang terdiri atas tanah liat , tanah rawa, tanah pasir, tanah kerikil, tanah ladang dan tanah berbatu.

Hal ini mempengaruhi nilai tahanan pentanahan dan berpengaruh pada hantaran listriknya. Tanah pasir dan kerikil kering mempunyai karakteristik yang unik, karena dijumpainya kesulitan dalam pemasangan elektroda pentanahan karena halangan kerikil, ini akan berakibat tidak dapat kedalaman elektroda yang cukup untuk mendapatkan nilai tahanan pentanahan yang diharapkan. Untuk mendapatkan perlindungan terhadap gangguan hubung singkat ke tanah, maupun gangguan petir, maka diperlukan perencanaan pentanahan Sistem Tenaga Listrik yang baik. Dengan metode pentanahan yang baik dan efektif, maka akan meminimalisasi gangguan petir, sehingga menjamin kehandalan beroperasinya sistem tenaga listrik dan aman bagi orang – orang yang melintasinya. Sebuah bangunan gedung agar terhindar dari bahaya sambaran petir dibutuhkan nilai tahanan pentanahan  $< 5 \text{ ohm}$  , sedangkan untuk pentanahan peralatan-peralatan elektronika dibutuhkan nilai tahanan pentanahan  $< 3 \text{ ohm}$  bahkan beberapa perangkat membutuhkan nilai tahanan pentanahan  $< 1 \text{ ohm}$ .<sup>7</sup>

Pentanahan merupakan salah satu faktor utama dalam setiap pengamanan (perlindungan) peralatan atau rangkaian listrik. Untuk melakukan pengamanan tersebut diperlukan perancangan pembumian sesuai standar yang berlaku yaitu :

1. Tahanan pembumian harus memenuhi syarat yang di inginkan untuk suatu keperluan pemakaian
2. Elektroda yang ditanam dalam tanah harus :
  - a. Bahan konduktor yang baik
  - b. Tahan Korosi
  - c. Cukup Kuat

---

<sup>7</sup> Jamaaluddin, dkk. 2015. *Penentuan Kedalaman Elektroda pada Tanah Pasir dan Kerikil Kering Untuk Memperoleh Nilai Tahanan Pentanahan yang Baik*. Jurnal TE-U.Sidoarjo: Universitas Muhammadiyah Sidoarjo, Vol. 1, No. 1



3. Elektroda harus mempunyai kontak yang baik dengan tanah sekelilingnya.
4. Tahanan pembumian harus baik untuk berbagai musim.

Dalam sebuah instalasi listrik, ada empat bagian yang harus diketanahkan/dibumikan, yaitu sebagai berikut :

1. Titik netral dari transformator atau titik netral dari generator. Hal ini diperlukan dalam kaitan dengan keperluan proteksi khususnya yang menyangkut gangguan hubung tanah.
2. Kawat petir yang ada pada bagian atas saluran transmisi. Kawat petir ini sesungguhnya juga berfungsi sebagai lightning arrester. Karena letaknya yang ada di sepanjang saluran transmisi, maka semua kaki tiang transmisi harus ditanahkan agar petir yang menyambar kawat petir dapat disalurkan ke tanah dengan lancar melalui kaki tiang saluran transmisi.
3. Semua bagian instalasi yang terbuat dari logam (menghantar listrik) dan dengan mudah dapat disentuh manusia.
4. Bagian pembuangan listrik (bagian bawah) dari lightning arrester. Hal ini diperlukan agar lightning arrester dapat berfungsi dengan baik, yaitu membuang muatan listrik yang diterimanya dari petir ke tanah (bumi) dengan lancar.<sup>11</sup>

### 2.3 Tujuan Pentanahan

Adapun tujuan sistem pentanahan secara umum adalah sebagai berikut:<sup>6</sup>

- 1) Menjamin keselamatan orang dari sengatan listrik baik dalam keadaan normal atau tidak dari tegangan sentuh dan tegangan langkah.
- 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.
- 6) Pengetanahan peralatan berlainan dengan pengetanahan sistem, yaitu

<sup>11</sup> Siahaan, Thamrin. 2019. *Studi Pembumian Peralatan Dan Sistem Instalasi Listrik Pada gedung Kantor BICTPT*. Jurnal. Medan: Universitas Darma Agung, Vol.8, No.2

<sup>6</sup> Sumardjati, Prih dkk. 2008. *Teknik Pemanfaatan Tenaga Listrik Jilid 1*. Jakarta : Direktorat Pembinaan Sekolah Menengah Kejuruan.



pengetanahan bagian dari peralatan yang pada kerja normal tidak dilalui arus.

Selain itu, pada dasarnya sistem pentanahan tiga tujuan yaitu:<sup>7</sup>

- 1) Pengamanan terhadap tegangan lebih. Petir, surja, sentara, atau hubungan yang tidak diinginkan dengan tegangan tinggi dapat menimbulkan tegangan yang berlebih pada sistem distribusi atau instalasi. Pentanahan akan memberikan jalur alternatif bagi sistem yang dilindungi sehingga memperkecil kerusakan atau bahaya yang ditimbulkan karena hal-hal tersebut.
- 2) Kestabilan tegangan. Sumber tegangan listrik dapat berasal dari berbagai peralatan. Transformator dapat dipandang sebagai sumber yang terpisah. Jika tidak ada satu titik acuan bersama untuk semua sumber tegangan itu akan sulit menghitung hubungan antara yang satu dengan yang lain. Bumi merupakan permukaan penghantar yang selalu ada di mana-mana di muka bumi ini. Bumi selalu dimanfaatkan sebagai acuan baku sebagai tegangan nol dalam sistem tenaga listrik.
- 3) Jalur arus ke bumi untuk memfasilitasi tata kerja peralatan arus lebih. Tujuan utama pentanahan ini adalah untuk keselamatan. Bila semua bagian peralatan listrik yang mengandung logam ditanahkan, maka jika terjadi kegagalan isolasi dalam peralatan itu tidak akan menimbulkan bahaya bagipemegangnya. Jika ada bagian kawat yang berlistnk menyentuh bagian logam yang ditanahkan itu, akan terjadi hubungan singkat ke tanah dan sekring atau sistem pengaman lain akan bekerja dan memutuskan hubungan listrik itu.

Adapun pentanahan pada peralatan adalah pentanahan dari peralatan yang pada kerja normal tidak dilalui arus dan tujuan dari pentanahan pada peralatan adalah sebagai berikut:<sup>3</sup>

- 1) Untuk membatasi tegangan antara bagian-bagian peralatan yang tidak dilalui arus dan antara bagian-bagian ini dengan tanah sampai pada suatu harga yang aman (tidak membahayakan), untuk semua kondisi operasi normal atau tidak normal. Sistem pembumian ini gunanya ialah untuk memperoleh potensial

<sup>7</sup> Daryanto.2006.Konsep Dasar Teknik Elektronika Kelistrikan.Bandung: ALFABETA,cv

<sup>3</sup> Hutauruk, T.S. 1991. Pengetanahan Netral Sistem Tenaga & Pengetanahan Peralatan. Jakarta : Erlangga.



yang merata (uniform) dalam semua bagian struktur dan peralatan, dan juga untuk menjaga operator atau orang yang berada di daerah instalasi itu berada pada potensial yang sama dan tidak berbahaya pada setiap waktu.

- 2) Untuk memperoleh impedansi yang kecil/rendah dari jalan balik arus hubung singkat ke tanah. Bila arus hubung singkat ke tanah di paksaan melalui impedansi tanah yang tinggi, hal ini akan menimbulkan busur listrik dan pemanasan yang besarnya cukup untuk menyalakan material yang mudah terbakar.

Secara singkat tujuan pembumian itu dapat diformulasikan sebagai berikut :

- 1) Mencegah terjadinya tegangan kejut listrik yang berbahaya untuk orang dalam daerah itu.
- 2) Untuk memungkinkan timbulnya arus tertentu baik besarnya maupun lamanya dalam keadaan pada bangunan maupun isinya.

Untuk memperbaiki penampilan (*performance*) dari sistem.

## 2.4 Komponen Sistem Pentanahan<sup>8</sup>

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

### 1. Hantaran Penghubung

Hantaran penghubung adalah suatu saluran penghantar (*conductor*) yang menghubungkan titik kontak pada badan atau kerangka peralatan listrik dengan elektroda bumi. Fungsi hantaran penghubung adalah untuk menyalurkan arus gangguan ke elektroda pada sistem pentanahan. Penghantar yang digunakan dapat berupa penghantar yang berisolasi atau kabel dan juga penghantar yang tidak berisolasi seperti BC (*Bare Conductor*), ACSR (*Aluminium Conductor Steel Reinforced*). Bahan yang digunakan kebanyakan terbuat dari aluminium dan tembaga. Dalam hal pentanahan untuk peralatan sering digunakan penghantar dengan tembaga atau BC.

Antara hantaran penghubung dan elektroda pentanahan harus dipasang

<sup>8</sup> Sidik, Muh dkk. 2020. Pengaruh Sistem Pentanahan Terhadap Arus Gangguan Tanah Pada Sistem Distribusi 20 kV. Dalam Jurnal Ilmiah Teknik Elektro. Malang. Universitas Widyagama, Vol. 4, No.2. Halaman 3



sambungan yang dapat dilepas untuk keperluan pengujian resistansi pembumian sehingga penempatan sambungan tersebut harus pada tempat mudah dicapai. Sambungan hantaran penghubung ini dengan elektroda harus kuat secara mekanis dan menjamin hubungan listrik dengan baik misalnya dengan menggunakan penyambungan las, klem, atau baut kunci yang mudah lepas. Klem pada elektroda harus menggunakan baut dengan diameter minimal 10mm<sup>2</sup>. Selain faktor di atas yang perlu diperhatikan juga adalah sambungan antar penghantar penghubung dan elektroda pentanahan tersebut juga harus dilindungi dari korosi sehingga daya tahan untuk sistem pentanahannya bisa lama terjamin.

## 2. Elektroda Pentanahan

Yang dimaksud dengan elektroda pentanahan adalah sebuah atau sekelompok penghantar yang ditanam dalam bumi dan mempunyai kontak yang erat dengan bumi dan menyertai hubungan listrik dengan bumi.

Elektroda pentanahan tertanam sedemikian rupa dalam tanah berupa elektroda pita, logam, batang konduktor, pipa air minum dari tulang besi beton pada tiang pancang. Untuk mendapatkan harga resistansi pentanahan yang serendah mungkin harus memenuhi beberapa persyaratan antara lain :

- a. Resistansi elektroda pentanahan harus lebih kecil dari pada harga yang direkomendasikan.
- b. Elektroda pentanahan harus mampu dialiri arus hubung singkat terbesar.
- c. Elektroda pentanahan harus mempunyai sifat kimia yang baik sehingga tidak mudah mengalami korosi.

Elektroda pentanahan harus mempunyai sifat mekanis yang baik.

## 2.5 Macam-Macam Elektroda Pentanahan<sup>12</sup>

Elektroda Pentanahan Menurut PUIL 2000 [3.18.11 & 3.18.4.1], Elektroda adalah pengantar yang ditanam dalam bumi dan membuat kontak langsung dengan bumi. Pada umumnya elektroda pentanahan yang sering digunakan ada 3 jenis, yaitu sebagai berikut:

<sup>12</sup> Mukmin, Mirwan, dkk. 2014. Perbandingan Nilai Tahanan Pentanahan Pada Area Reklamasi Pantai. Jurnal MEKTRIK. Palu: Universitas Tadulako, Vol. 1 No.1



### 2.5.1 Elektoda Batang

Elektroda batang adalah elektroda dari pipa besi baja profil atau batangan logam lainnya yang dipancangkan ke dalam tanah secara dalam. Pembumian dengan menggunakan elektroda batang yang mana pembumiannya ditanam secara vertikal atau tegak lurus kedalam tanah. Pembumian jenis ini paling banyak digunakan karena mempunyai keuntungan jika dibandingkan dengan menggunakan jenis elektroda yang lain yaitu :

1. Elektroda batang memiliki harga yang terjangkau dan murah serta tidak membutuhkan biaya yang banyak.
2. Pemasangan mudah, cukup dipukul dengan pemukul atau dibuat lubang terlebih dahulu dengan bor.
3. Mudah dipasang, cukup menghubungkan keujung elektroda dipermukaan tanah yang keluar.
4. Jika besar tahanan tanah yang dibutuhkan kurang, maka tinggal memparalelkan elektroda batang lainnya didekatnya.

Rumus (2.1) merupakan tahanan pentanahan elektroda batang tunggal:

$$R = \frac{\rho}{2\pi L} \left( \ln \frac{4L}{a} - 1 \right) \dots \dots \dots (2.1)$$

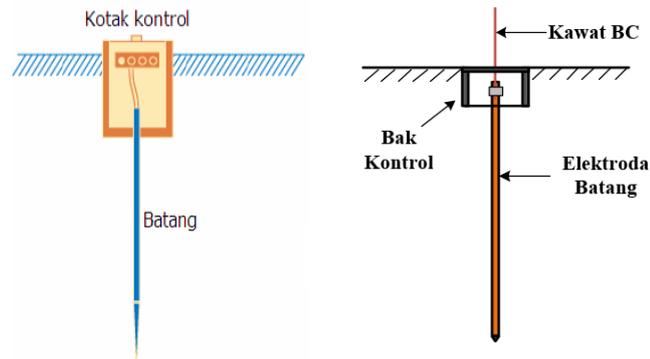
Dimana:

R= Tahanan pentanahan untuk elektroda batang (ohm)

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

L = Panjang elektroda (m)

A = Diameter elektroda (meter)



**Gambar 2.5** Elektroda Batang

Perhitungan tahanan pembumian elektroda batang lebih dari satu. Bila tahanan pembumian yang dikehendaki tidak dapat dicapai oleh elektroda tunggal (single rod) maka dua elektroda atau lebih dapat dipergunakan. Beberapa konfigurasi pemasangan elektroda batang lebih dari satu sebagai berikut :

**a. Konfigurasi *double straight***



**Gambar 2.6** Konfigurasi *double straight*

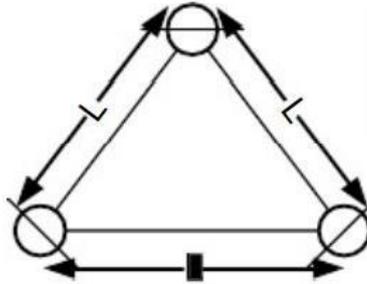
**b. Konfigurasi *triple straight***



**Gambar 2.7** Konfigurasi *triple straight*

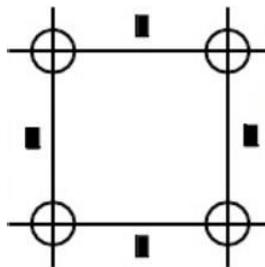


c. Konfigurasi *triangle*



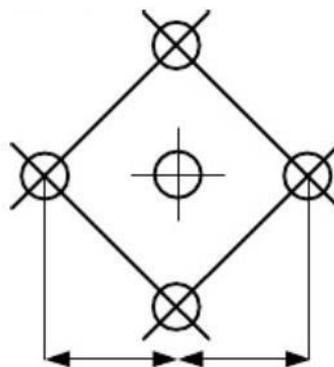
Gambar 2.8 Konfigurasi  
*Triagle*

d. Konfigurasi *square*



Gambar 2.9 Konfigurasi  
*Square*

e. Konfigurasi *crosscicle*



Gambar 2.10 Konfigurasi  
*crosscicle*



Untuk menghitung tahanan pembumian total (R<sub>pt</sub>) konfigurasi diatas, maka dipakai rumus :

$$R_{pt} = \frac{\rho}{2x\pi xl} \times \text{factor pengali konfigurasi} \dots\dots\dots (2.2)$$

K = faktor pengali elektroda tunggal

**Tabel 2.1** Faktor Pengali elektroda tunggal (k)

$\frac{\rho}{r}$	20	200	2000	20000
k	3	5,3	7,6	9,9

Untuk factor pengali elektroda batang *double straight* menggunakan rumus :

$$\frac{1+m}{2} \dots\dots\dots (2.3)$$

Untuk triple straight menggunakan rumus :

$$\frac{1-2m^2+2^2}{3-4+n} \dots\dots\dots (2.4)$$

Untuk *triagle* menggunakan rumus :

$$\frac{1+2m}{3} \dots\dots\dots (2.5)$$

Untuk *square* menggunakan rumus :

$$\frac{1+2m+q}{3} \dots\dots\dots (2.6)$$

Untuk *crosscicle* menggunakan rumus :

$$\frac{1+2q+n-4m^2}{5+2q+n-8m} \dots\dots\dots (2.7)$$

Dimana :

$$m = \frac{\ln x}{(\ln \frac{l}{r})} \dots\dots\dots (2.8)$$

$$x = \frac{lxL}{L} \dots\dots\dots (2.9)$$



$$n = \frac{\ln y}{(\ln \frac{l}{r})} \dots \dots \dots (2.10)$$

$$y = \frac{L+2L}{L} \dots \dots \dots (2.11)$$

$$q = \frac{\ln z}{(\ln \frac{l}{r})} \dots \dots \dots (2.12)$$

$$z = \frac{L+2L}{2L} \dots \dots \dots (2.13)$$

Untuk menghitung tahanan pentanahan dimana elektroda pentanahannya dipasang paralel digunakan rumus sebagai berikut:

$$R_{tot} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_1} + \dots + \frac{1}{R_n} \dots \dots \dots (2.14)$$

Dimana :

$R_{tot}$  = Tahanan  $\Omega$

### 2.5.2 Elektroda Pita

Elektroda ini berupa pita atau kawat berpenampang bulat yang ditanam di dalam tanah umumnya penanamannya tidak terlalu dalam (0,5 - 1 meter). Elektroda pita sering juga disebut elektroda pipa yang berbentuk lempengan pelat tipis, kecil dan panjang. Bahan yang dipakai biasanya dari tembaga yang berbentuk I “X” mempunyai bentuk memanjang dengan caramelingkar dan ditanam pada kedalaman sampai 1 meter dari permukaan tanah. Untuk memperoleh tahanan yang rendah biasanya diusahakan dengan elektroda yang paling panjang.

Elektroda jenis ini sering dipakai pada tepat-tempat yang mempunyai tahanan tanah yang jenisnya tinggi, terutama pada tanah yang banyak mengandung batu-batuan dimana penempatan elektroda jenis batangan, pilar kurang praktis untuk digunakan.

Rumus (2.18) merupakan rumus tahanan pentanahan untuk elektroda pita adalah sebagai berikut:



$$R = \frac{\rho}{2\pi L} \left( \ln \frac{2L}{\sqrt{d \cdot z}} \right) + \frac{1,4 L}{\sqrt{A}} - 5,6 \dots\dots\dots (2.18)$$

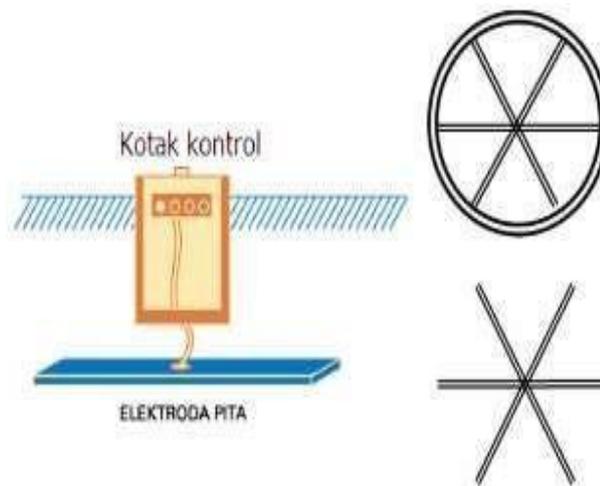
Dimana:

R = Tahanan pentanahan elektroda pita (ohm)

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

L = Panjang elektroda pelat (m)

d = kedalaman plat tertanam dari permukaan tanah (m)



**Gambar 2.11** Elektroda Pita

### 2.5.3 Elektroda Plat

Elektroda plat adalah elektroda dari plat logam. Cara pemasangannya adalah tegak lurus dengan kedalaman kira-kira 1 meter di bawah permukaan tanah dihitung dari sisi plat sebelah atas.

Elektroda pelat terbuat dari besi baja atau tembaga yang berbentuk segi empat, ditanam vertikal dalam tanah. Ukuran pelat yang biasa dipakai adalah:

- a. Ukuran pelat elektroda 60 x 60 Cm.
- b. Tebal pelat dari besi 6,30 mm dan tembaga 3,15 mm.

Pembumihan dengan menggunakan elektroda pelat sudah jarang dipakai karena tidak menguntungkan antara lain :



- a. Harga elektroda pelatcukup mahal.
- b. Mudah berkarat (dilapis).
- c. Kurang praktis, dimana waktu pengecekan harus digali lubang terlebihdahulu atau penggalian kembali.

Rumus (2.19) merupakan tahanan pentanahan untuk elektroda bentuk plat sebagai berikut:

$$R = \frac{\rho}{2\pi L} \left( \ln \frac{8W}{\sqrt{0,5W+T}} \right) - 1 \dots\dots\dots(2.19)$$

Dimana :

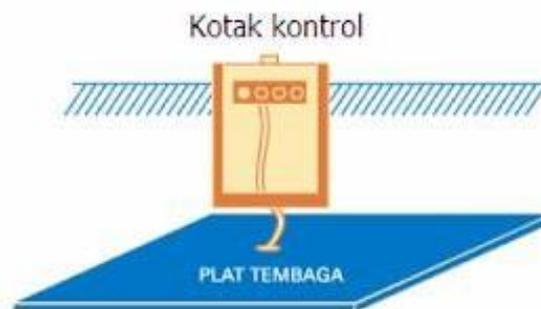
$R$  = Resistansi pentanahan grid kawat (Ohm)

$P$  = Resistansi jenis tanah (Ohm-meter)

$W$  = Lebat Plat (meter)

$L$  = Panjang Pelat (meter)

$T$  = Tebal Pelat (meter)



**Gambar 2.12** Elektroda Plat

## 2.6 Metode Pentanahan

Metode-metode yang digunakan dalam mereduksi nilai  $R$  untuk elektroda batang pbumian, telah direkomendasikan menurut IEEE Std. 142-1982 yaitu:<sup>7</sup>

1. Penambahan jumlah batang pbumian

<sup>7</sup> Jamaaluddin,dkk.2015. Penentuan Kedalaman Elektroda pada Tanah Pasir dan Kerikil Kering Untuk Memperoleh Nilai Tahanan Pentanahan yang Baik. Jurnal TE-U.Sidoarjo: Universitas Muhammadiyah Sidoarjo, Vol. 1, No. 1



2. Memperpanjang ukuran batang pembedian
3. Membuat perlakuan terhadap tanah (soil treatment) terbagi atas:
  - a. Metode bak ukur (Container Method)
  - b. Metode parit (Trench Method)
4. Menggunakan batang pembedian khusus
5. Metode kombinasi

Nilai tahanan tanah bisa diketahui dengan mempergunakan persamaan (2.20) sebagai berikut:

$$R = \frac{\rho}{2\pi L} \left( \ln \frac{4L}{a} - 1 \right) \dots\dots\dots(2.20)$$

Dimana :

R= Tahanan pentanahan pasak ke tanah (ohm)

$\rho$  = Tahanan tanah rata-rata (ohm-cm)

L = Panjang pasak ke tanah (cm)

a = Jari-jari penampang pasak (cm)

Rumus Dwight diatas menunjukkan bahwa, tahanan tanah merupakan faktor kunci yang menentukan tahanan elektroda dan pada kedalaman berapa elektroda tersebut harus ditanam dalam tanah untuk memperoleh tahanan pentanahan yang rendah. Nilai tahanan tanah sangat bervariasi. Hal ini tergantung pada iklim, kandungan elektrolit dan jenis tanahnya. Metode pentanahan dalam hal ini yang dipakai adalah Driven Ground, yaitu menanamkan batang elektroda tegak lurus ke dalam tanah atau beberapa buah batang yang merupakan kelompok elektroda biasanya berdiameter  $\frac{3}{4}$  inchi sampai dengan 2 inchi, dan panjangnya antara 3 meter sampai 15 meter.

## 2.7 Faktor-Faktor yang Mempengaruhi Nilai Tahanan Pentanahan<sup>6</sup>

Faktor-faktor yang mempengaruhi besaran nilai tahanan pentanahan adalah:

1. Bentuk elektroda

Ada bermacam-macam bentuk elektroda yang banyak digunakan, seperti

<sup>6</sup> Sumardjati, Prih dkk. Teknik Pemanfaatan Tenaga Listrik Jilid 1. Halaman 167.



jenis batang, pita dan pelat.

2. Jenis bahan dan ukuran elektroda

Sebagai konsekuensi peletakannya di dalam tanah, maka elektroda dipilih dari bahan-bahan tertentu yang memiliki konduktivitas sangat baik dan tahan terhadap sifat-sifat yang merusak dari tanah, seperti korosi. Ukuran elektroda dipilih yang mempunyai kontak paling efektif dengan tanah.

3. Jumlah/konfigurasi elektroda

Untuk mendapatkan tahanan pentanahan yang dikehendaki dan bila tidak cukup dengan satu elektroda, bisa digunakan lebih banyak elektroda dengan bermacam-macam konfigurasi pemancangannya di dalam tanah.

4. Kedalaman pemancangan/penanaman di dalam tanah

Pemancangan ini tergantung dari jenis dan sifat-sifat tanah. Ada yang lebih efektif ditanam secara dalam, namun ada pula yang cukup ditanam secara dangkal.

5. Faktor-faktor alam

- a) Jenis tanah : tanah gembur, berpasir, berbatu, dan lain-lain;
- b) Kelembaban tanah : semakin tinggi kelembaban atau kandungan air dalam tanah akan memperendah tahanan jenis tanah; kandungan mineral tanah: air tanpa kandungan garam adalah isolator yang baik dan semakin tinggi kandungan garam akan memperendah tahanan jenis tanah, namun meningkatkan korosi;
- c) Suhu tanah : suhu akan berpengaruh bila mencapai suhu beku dan di bawahnya. Untuk wilayah tropis seperti Indonesia tidak ada masalah dengan suhu karena suhu tanah ada di atas titik beku.

## 2.8 Tahanan Pentanahan

Tahanan pentanahan dari elektrode bumi, tergantung pada jenis tanah dan keadaan tanah serta ukuran dan susunan elektrode. Dari Tabel Tahanan



Pembumian pada tahanan jenis  $(\rho - 1) = 100$  ohm-meter dibawah ini, menunjukkan nilai rata-rata tahanan elektrode bumi untuk panjang tertentu.<sup>1</sup>

**Tabel 2.2** Nilai rata-rata Tahanan Elektrode Bumi

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Jenis Elektroda	Pita atau penghantar pilin				Batang atau pita				Pelat vertical dengan sisi atas $\pm 1$ m dibawah permukaan tanah	
	Panjang (m)				Panjang (m)					
	10	25	30	100	1	2	3	5	0.5 x 1	1x1
Resistansi Pentanahan	20	10	5	3	70	40	30	20	35	25

## 2.9 Nilai Resistansi Tanah

Tahanan tanah merupakan kunci utama yang menentukan tahanan elektroda dan pada kedalaman berapa elektroda harus ditanam agar diperoleh tahanan yang rendah. Tanah yang kering biasanya mempunyai tahanan tanah yang tinggi, sebaliknya tanah yang basah juga dapat mempunyai tahanan yang rendah apabila mengandung garam-garam yang mudah larut. Untuk memperoleh kesetabilan resistansi pentanahan, elektroda ditanam pada kedalaman optimal mencapai tingkat kandungan air yang tetap.

Jenis Tanah menurut PUIL 2000 dibagi atas :<sup>5</sup>

- a) Tanah Rawa
- b) Tanah Liat dan Tanah Ladang
- c) Pasir Basah
- d) Kerikil Basah
- e) Pasir dan Kerikil Kering
- f) Tanah Berbatu

<sup>1</sup> Daryanto.2006.Konsep Dasar Teknik Elektronika Kelistrikan.Bandung: ALFABETA,cv

<sup>5</sup> Persyaratan Umum Instalasi Listrik (PUIL). 2000.



Faktor keseimbangan antara tahanan pentanahan dan kapasitansi disekelilingnya adalah tahanan jenis tanah yang direpresentasikan dengan  $\rho$  (rho). Harga tahanan jenis tanah pada daerah kedalaman yang terbatas tergantung dari beberapa faktor yaitu:

1. Jenis tanah : tanah liat, berbatu, dan lain-lain.
2. Lapisan tanah : berlapis-lapis dengan tahanan jenis berlainan atau uniform.
3. Kelembaban tanah.
4. Temperatur. Tahanan jenis tanah bervariasi dari 500 sampai 50.000 Ohm per cm<sup>3</sup>.

Untuk melihat gambaran mengenai besarnya tahanan jenis tanah untuk bermacam - macam jenis tanah dapat dilihat pada Tabel dibawah ini:

**Tabel 2.3** Resistansi Jenis Tanah<sup>4</sup>

No	Jenis Tanah	Resistansi Jenis ( $\Omega$ -m)
1	Tanah Rawa	30
2	Tanah Liat dan Tanah Ladang	100
3	Pasir Basah	200
4	Kerikil Basah	500
5	Pasir dan Kerikil Kering	1000
6	Tanah Berbatu	3000

## 2.10 Resistansi Pentanahan Menurut Persyaratan Umum Instalasi Listrik

Resistansi pentanahan harus sekecil mungkin untuk menghindari bahaya-bahaya yang ditimbulkan oleh adanya arus gangguan tanah. Hantaran netral harus diketanahkan di dekat sumber listrik atau transformator, pada saluran udara setiap 200m dan di setiap konsumen. Resistansi Pentanahan menurut Persyaratan Umum Instalasi Listrik (PUIL 2000) adalah penghubungan suatu titik sirkit listrik atau suatu penghantar yang bukan bagian dari sirkit listrik, dengan bumi menurut cara

<sup>4</sup> Pabla, AS, dan Ir. Abdul Hadi. 1991. Sistem Distribusi Daya Listrik. Jakarta: Erlangga.



tertentu dan nilai resistansi pentanahan yang dipersyaratkan dalam PUIL 2000 adalah  $\leq 5 \Omega$ .

### 2.11 Ukuran Elektroda Pentanahan

Ukuran Elektroda Pentanahan dapat dilihat pada tabel berikut:

**Tabel 2.4** Ukuran Elektroda Pentanahan

No	Bahan Jenis Elektroda	Baja Digalvanisasi dengan Proses Pemanasan	Baja Berlapis Tembaga	Tembaga
1	Elektroda Pita	Pita baja 100 mm <sup>2</sup> setebal minimum 3mm	50 mm <sup>2</sup>	Pita tembaga 50 mm <sup>2</sup> tebal minimum 2 mm
		Penghantar pilin 95 mm <sup>2</sup> (bukan kawat halus)		Penghantar pilin 35 mm <sup>2</sup> (bukan kawat halus)
2	Elektroda Batang	-Pipa baja 25 mm -Baja profil (mm) L 65 x 65 x7 U 6,5 T 6 x 50 x3 - Batang profil lain yang setaraf	Baja berdiameter 15mm dilapisi tembaga setebal 250 $\mu$ m	
3	Elektroda Pelat	Tebal pelat besi 3mm dengan luas 0,5 m <sup>2</sup> sampai 1m <sup>2</sup>		Pelat tembaga tebal 2 mm luas 0,5 m <sup>2</sup> sampai 1 m <sup>2</sup>

(Sumber: PUIL 2000)

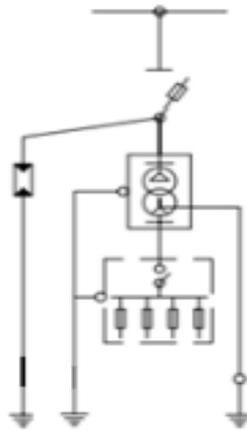
### 2.12 Sistem Pentanahan pada Gardu Distribusi

Bagian-bagian yang dipentanahkan pada gardu portal adalah:

1. Terminal netral sisi sekunder transformator.
2. Lightning Arrester (LA).
3. Bagian konduktif terbuka (BKT) Instansi Gardu
4. Bagian Konduktif Ekstra (BKE)



5. Nilai tahanan pembumian tidak melebihi 1 Ohm. Titik netral transformator dibumikan tersendiri, pentanahan lightning arrester (LA), pentanahan BKT, pentanahan titik netral transformator dilakukan dengan memakai elektroda pentanahan sendiri-sendiri, namun penghantar pentanahan lightning arrester dan BKT dihubungkan dengan kawat tembaga (BC) 50 mm<sup>2</sup>. Penghantar-penghantar pentanahan dilindungi dengan pipa galvanis dengan diameter 5/8 inci sekurang-kurangnya setinggi 3 meter di atas tanah.<sup>2</sup>



**Gambar 2.13** Diagram Satu Garis sistem pentanahan Gardu Portal

Keterangan Gambar 2.13:

1. SUTM
2. LA (Lightning Arrester)
3. FCO (Fuse Cut Out)
4. Transformator
5. PHB-TR
6. Saklar Utama
7. Rel Busbar
8. NH Fuse

<sup>2</sup> Buku 4.PT. PLN (Persero). 2010. Standar Kontruksi Gardu Distribusi dan Gardu Hubung Tenaga Listrik. Jakarta : PT PLN (Persero).



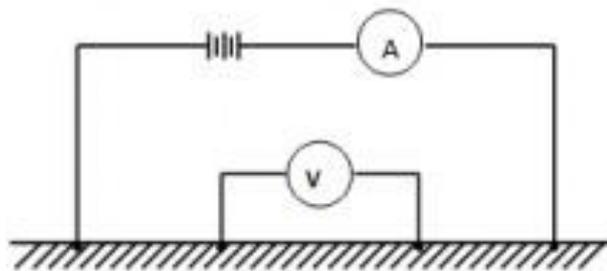
9. Sistem Pentanahan LA
10. Sistem Pentanahan Body Transformator dan PHB-TR
11. Sistem Pentanahan Netral Sekunder Transformator

### 2.13 Pengukuran Tahanan Jenis Tanah

Pengukuran resistansi jenis tanah dibagi menjadi 2 (dua) metode, yaitu sebagai berikut :

#### 1) Metode empat elektroda (*four electrode method*)

Pengukuran resistansi jenis tanah dengan metode empat elektroda menggunakan empat buah elektroda, sebuah batere, sebuah ampermeter, dan sebuah voltmeter, sebagaimana terlihat pada gambar dibawah ini.

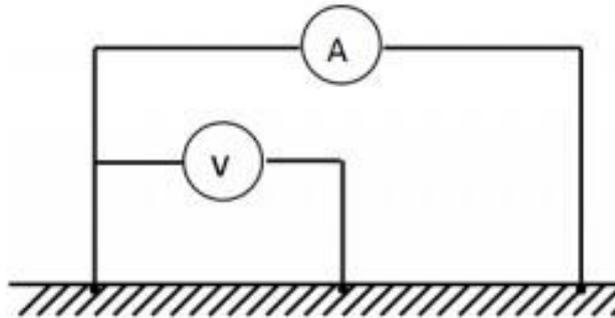


**Gambar 2.14** Pengukuran Resistansi Jenis Tanah Metode Empat Elektroda

Bila arus ( $I$ ) masuk ketanah melalui salah satu elektroda dan kembali ke elektroda yang lain yang cukup jauh sehingga pengaruh diameter dapat diabaikan. Arus yang masuk ketanah mengalir secara radial dari elektroda.

#### 2) Metode tiga titik (*three point method*)

Metode tiga titik (*three-point method*) dimaksudkan untuk mengukur resistansi pentanahan. Misalkan tiga buah batang pentanahan dimana batang 1 yang tahananannya hendak diukur dan batang-batang 2 dan 3 sebagai batang pentanahan pembantu yang juga belum diketahui tahananannya, seperti pada gambar dibawah ini.



**Gambar 2.15** Pengukuran Resistansi Jenis Tanah Metode Tiga Titik

#### 2.14 Pengukuran Tahanan Pentanahan

Pengukuran tahanan pentanahan memiliki 2 cara yaitu :

1. Pengukuran Secara Langsung

Pengukuran secara langsung dibagi menjadi 2 metode yaitu :

- a. Metode Uji Drop Tegangan

Cara kerja metode uji drop tegangan adalah pada saat pengukuran dilakukan konduktor yang menghubungkan batang pentanahan dengan elektroda utama harus dilepas. Karena terdapat pengaruh tahanan paralel dalam sistem yang ditanahkan, kemudian earth tester dihubungkan ke elektroda utama, 2 buah elektroda bantu ditancapkan ke tanah secara segaris, jauh dari elektroda utama. Biasanya, dengan jarak 10-15 meter.



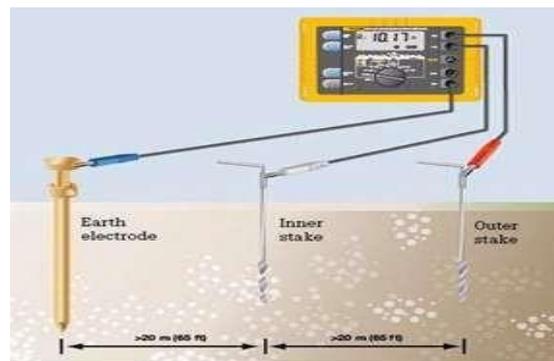
**Gambar 2.16** Earth Tester

Earth tester akan mengukur tegangan antara batang elektroda bantu yang ada ditengah dan elektroda utama. Selanjutnya Earth Tester akan



menghitung tahanan pentanahan menurut hukum ohm.

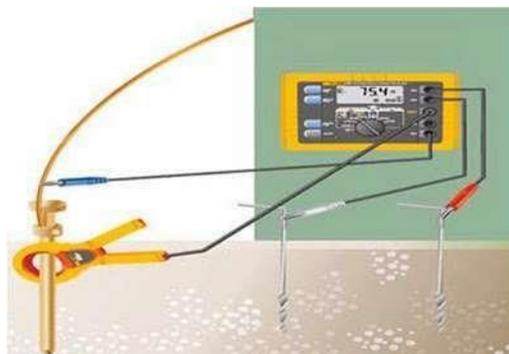
Dimana  $V$  adalah besarnya tegangan yang diukur dan  $I$  adalah besarnya arus yang kembali melalui elektroda utama. Cara pengukuran tahanan pentanahan dengan metode uji drop tegangan ditunjukkan oleh gambar dibawah ini.



**Gambar 2.17** Skema Uji Drop Tegangan

b. Metode Selektif

Pengukuran tahanan pentanahan dengan metode selektif sangat mirip dengan pengukuran tahanan pentanahan dengan metode uji drop tegangan, kedua metode menghasilkan ukuran yang sama, tapi metode selektif dapat dilakukan dengan cara yang jauh lebih aman dan lebih mudah. Hal ini dikarenakan dengan pengujian selektif, elektroda utama tidak harus dilepaskan dari sambungannya di tempat itu.

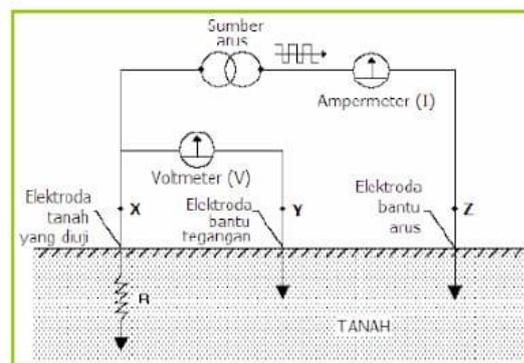


**Gambar 2.18** Skema Uji Selektif



## 2. Pengukuran Secara Tidak Langsung

Pengukuran secara tidak langsung merupakan proses pengukuran yang dilaksanakan dengan memakai beberapa jenis alat ukur berjenis komparator/pembanding, standar dan bantu. Perbedaan harga yang ditunjukkan oleh skala alat ukur dibandingkan dengan ukuran standar (pada alat ukur standar) dapat digunakan untuk menentukan dimensi objek ukur. Metode yang biasa digunakan dalam pengukuran secara tidak langsung adalah metode *fall of potensial*, yaitu dengan menggunakan amperemeter dan voltmeter. Karena untuk mendapatkan nilai tahanan pentanahan yaitu dengan membandingkan nilai tegangan dibagi dengan nilai arus yang didapat. Adapun cara pengukuran tahanan pentanahan menggunakan amperemeter dan voltmeter ditunjukkan pada gambar dibawah ini.



**Gambar 2.19** Pengukuran Tidak Langsung

Cara pengukuran tahanan pentanahan seperti **Gambar 2.9** dapat dilakukan dengan cara menancapkan elektroda bantu P sejauh 20 meter atau lebih dari elektroda utama, kemudian tancapkan elektroda bantu C sejauh 20 meter atau lebih dari elektroda P. Kutub pentanahan elektroda P dan elektroda C harus dalam satu garis lurus. Kemudian pasang voltmeter antara elektroda utama dengan elektroda P, sambungkan amperemeter menuju sumber daya AC kemudian ke elektroda C, kemudian baca nilai masing-masing voltmeter dan amperemeter maka besarnya tahanan kutub pentanahan adalah  $R = \frac{V}{I}$