



---

## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA

---

#### 2.1 Gardu Distribusi

Gardu distribusi merupakan salah satu komponen dari suatu sistem distribusi yang berfungsi untuk menghubungkan jaringan ke konsumen atau untuk membagikan/mendistribusikan tenaga listrik pada beban/konsumen baik konsumen tegangan menengah maupun konsumen tegangan rendah.

Gardu Distribusi merupakan kumpulan/gabungan dari perlengkapan hubung bagi baik tegangan menengah dan tegangan rendah. Jenis perlengkapan hubung bagi tegangan menengah pada gardu distribusi berbeda sesuai dengan jenis konstruksi gardunya.

##### 2.1.1 Jenis gardu distribusi

- a. Jenis pemasangannya :
  - a) Gardu pasangan luar : Gardu Portal, Gardu Cantol
  - b) Gardu pasangan dalam : Gardu Beton, Gardu Kios
- b. Jenis Konstruksinya :
  - a) Gardu Beton (bangunan sipil : Batu, beton)
  - b) Gardu Tiang : Gardu Portal dan Gardu Cantol
- c. Gardu Kios Jenis Penggunaannya :
  - a) Gardu Pelanggan Umum
  - b) Gardu Pelanggan Khusus

##### 2.1.2 Macam-macam gardu distribusi

1. Gardu Beton, Seluruh komponen utama instalasi yaitu transformator dan peralatan *switching*/proteksi, terangkai di dalam bangunan sipil yang di rancang, di bangun dan difungsikan dengan konstruksi pasangan batu dan beton.



Gambar 2.1 Gardu Beton

2. Gardu Portal adalah gardu listrik tipe 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.



Gambar 2.2 Gardu Portal

3. Gardu Distribusi tipe cantol, transformator yang terpasang adalah jenis CSP (*Completely Self Protected Transformer*) yaitu peralatan *switching* dan proteksinya sudah terpasang lengkap dalam tangki transformator.

Gambar 2.3 Gardu Cantol<sup>[6]</sup>



4. Gardu Kios, kotak tempat peralatan listrik terbuat dari bahan besi. Gardu kios bukan merupakan gardu permanen tetapi hanya merupakan gardu sementara, sehingga dapat mudah untuk dipindah-pindahkan.



Gambar 2.4 Gardu Kios

5. Gardu Hubung disingkat GH atau *Switching Substation* adalah gardu yang berfungsi sebagai sarana manuver pengendali beban listrik jika terjadi gangguan aliran listrik, program pelaksanaan pemeliharaan atau untuk maksud mempertahankan kontinuitas pelayanan. Isi dari instalasi Gardu Hubung adalah rangkaian saklar beban (*Load Break switch – LBS*), dan atau pemutus tenaga yang terhubung paralel. Gardu Hubung juga dapat dilengkapi sarana pemutus tenaga pembatas beban pelanggan khusus Tegangan Menengah. Konstruksi Gardu Hubung sama dengan Gardu Distribusi tipe beton. Pada ruang dalam Gardu Hubung dapat dilengkapi dengan ruang untuk Gardu Distribusi yang terpisah dan ruang untuk sarana pelayanan kontrol jarak jauh. Ruang untuk sarana pelayanan kontrol jarak jauh dapat berada pada ruang yang sama dengan ruang Gardu Hubung, namun terpisah dengan ruang Gardu Distribusinya.

## 2.2 Sistem Pentanahan

Salah satu pengaman yang paling baik terhadap peralatan listrik dari gangguan arus lebih ataupun hubungan singkat yaitu, dengan cara pentanahan. Cara ini juga dapat melindungi manusia dari adanya bahaya-bahaya yang dapat memakan korban dengan menghubungkan bagian dari peralatan tersebut dengan sistem pentanahan.<sup>1)</sup>

<sup>1)</sup> AS Pabla dan Abdul Hadi. 1991. Sistem Distribusi Daya Listrik. Penerbit Erlangga. Jakarta



Pentanahan adalah penghubung suatu titik rangkaian listrik dengan bumi dengan cara tertentu, apabila suatu tindakan pengamanan atau perlindungan yang akan dilaksanakan. Maka harus ada sistem pentanahan yang dirancang dengan benar. Agar sistem pentanahan dapat bekerja efektif, adapun sistem pentanahan adalah sebagai berikut :

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

### 2.3 Fungsi dan Tujuan Pentanahan

Fungsi pentanahan adalah untuk mengalirkan arus listrik kedalam tanah melalui suatu elektroda tanah yang ditanam di dalam tanah jika terjadi suatu gangguan, disamping itu berfungsi sebagai pengaman manusia dari listrik. Arus listrik mengalir pada elektroda pentanahan akan mengakibatkan perbedaan tegangan antara elektroda pada suatu titik dengan suatu titik lain dipermukaan tanah. Bila perbedaan maksimum sepanjang permukaan tanah ternyata masih begitu besar, maka kondisi ini sangat tidak menguntungkan karena akan membahayakan personil yang sedang bekerja. Perbedaan ini akan dirasakan disekitar peralatan. Untuk mengurangi pengaruh tersebut maka haruslah dapat direncanakan sistem pentanahan. <sup>1)</sup> Adapun tujuan pentanahan peralatan-peralatan listrik yang ditanahkan antara lain :

- a. Untuk membatasi tegangan antara bagian-bagian peralatan yang tidak dilalui arus dan antara bagian-bagian ini dengan tanah sampai pada suatu titik aman untuk semua kondisi operasi normal ataupun tidak normal.
- b. Untuk memperkecil bahaya *shock* pada manusia maupun hewan.
- c. Untuk menetralkan grounding tegangan yang terjadi pada permukaan tanah.

---

<sup>1)</sup> AS Pabla dan Abdul Hadi. 1991. Sistem Distribusi Daya Listrik. Penerbit Erlangga. Jakarta



## 2.4 Bagian-bagian Sistem Pentanahan

Dibawah ini merupakan bagian-bagian sistem pentanahan

### 2.4.1 Kutub Pentanahan

Kutub pentanahan adalah komponen metal sebagai penghantar listrik yang bersentuhan dengan tanah/ditanam di dalam tanah untuk mempercepat penyerapan muatan listrik akibat petir atau tegangan lebih ke tanah. Bentuknya bermacam-macam tergantung pada keperluannya.

### 2.4.2 Hantaran Penghubung

Hantaran penghubung adalah metal penghubung antara kutub pentanahan dengan terminal, biasanya berupa kawat tembaga pilin/*BC draad* dengan diameter minimal 16 mm.

### 2.4.3 Terminal Pentanahan

Terminal pentanahan adalah terminal atau titik di mana dihubungkan dengan perangkat peralatan. Biasanya berupa lempeng tembaga cukup panjangnya 15 cm, lebar 3 cm dan tebal 1 cm.

## 2.5 Pentanahan Peralatan<sup>1)</sup>

Pentanahan peralatan adalah penghubung bagian-bagian peralatan listrik yang pada keadaan normal tidak dialiri arus. Tujuannya adalah untuk membatasi tegangan antara bagian-bagian peralatan yang tidak dialiri arus dan antara bagian-bagian ini dengan tanah sampai pada suatu yang aman untuk semua kondisi operasi baik kondisi normal maupun saat gangguan.

Sistem pentanahan ini berguna untuk memperoleh potensial yang merata dalam suatu bagian struktur dan peralatan serta untuk memperoleh impedensi yang rendah sebagai jalan balik arus hubungan singkat ke tanah.

Pentanahan peralatan pada umumnya menggunakan dua macam sistem pentanahan yaitu sistem grid (horizontal) dan sistem rod (vertikal). Sistem pentanahan grid adalah menanamkan batang-batang elektroda sejajar dengan permukaan tanah, hal ini merupakan usaha untuk meratakan tegangan yang timbul.

---

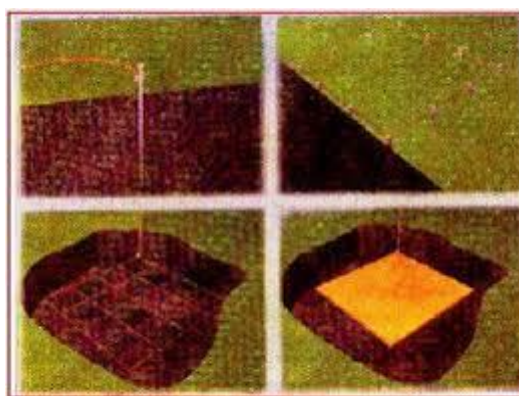
<sup>1)</sup> AS Pabla dan Abdul Hadi. 1991. Sistem Distribusi Daya Listrik. Penerbit Erlangga. Jakarta.



Sedangkan sistem pembedaan rod ialah menanamkan batang - batang elektroda tegak lurus kedalam tanah, hal ini fungsinya hanya mengurangi (memperkecil) tahanan pembedaan. Adapun penjelasan dari kedua sistem pentanahan peralatan diatas adalah sebagai berikut :

#### 2.5.1 Pentanahan Grid (horizontal)

Pada sistem ini batang-batang elektroda ditanam sejajar dibawah permukaan tanah, batang-batang ini terhubung satu sama lain. Dengan cara ini jumlah konduktor yang ditanam banyak sekali, maka bentuknya mendekati bentuk plat dan ini merupakan bentuk maksimum atau yang mempunyai harga tahanan paling kecil luas daerah tertentu, tetapi bentuk ini tidak efisien / mahal. Pada sistem ini banyaknya konduktor akan tak terbanding dengan tahanannya oleh karena fungsi dari konduktor sebenarnya adalah menyalurkan arus kedalam tanah. Bila elektroda saling berdekatan maka volume tanah tidak bisa menerima arus dari elektroda-elektroda tersebut, dengan kata lain volume tanah tidak terbatas kemampuannya untuk menerima arus. Pada pentanahan grid umumnya elektroda-elektrodanya ditanam sejajar satu dengan yang lainnya pada kedalaman beberapa puluh senti meter didalam tanah. Untuk lebih memperkecil harga tahanan pentanahannya harus diperluas daerah pentanahannya karena cara ini lebih mudah bila dibandingkan dengan cara memperdalam konduktor.



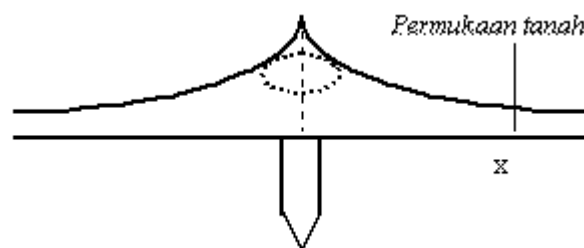
Gambar 2.5 Pentanahan Grid<sup>1)</sup>

<sup>1)</sup> AS Pabla dan Abdul Hadi. 1991. Sistem Distribusi Daya Listrik. Penerbit Erlangga. Jakarta



### 2.5.2 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 terjadi arus gangguan ketanah, maka arus gangguan ini akan mengakibatkan naiknya gradien di permukaan tanah. Besarnya tegangan maksimum yang timbul sebanding dengan tahanan pentanahan.



Gambar 2.6 Distribusi tegangan sekitar satu batang elektroda

Bila dilakukan penanaman paralel elektroda yang lebih banyak, maka tahanan pentanahan akan lebih kecil dan distribusi tegangan akan rata. Penanaman batang elektroda tegak lurus dipermukaan tanah dapat berbentuk bujur sangkar atau empat persegi panjang, dengan jarak antara elektroda pentanahan sama. Sedangkan konduktor penghubung antara batang-batang elektroda pentanahan terletak diatas permukaan tanah sehingga tidak di perhitungkan tahanannya.

Bila jarak antara konduktor makin pendek dan jumlah konduktor yang ditanam makin banyak, maka akan semakin kecil konduktivitas dari masing-- masing konduktor. Tujuan pentanahan peralatan ini dapat diformulasikan sebagai berikut:<sup>2)</sup>

- Untuk mencegah terjadinya tegangan kejut listrik yang berbahaya bagi manusia dalam daerah itu.
- Untuk memungkinkan timbulnya arus tertentu baik besarnya maupun lamanya dalam keadaan gangguan tanah tanpa menimbulkan kebakaran atau ledakan pada bangunan atau isinya.
- Untuk memperbaiki penampilan (performance) dari sistem.

<sup>2)</sup> TS Hutaohuruk. 1991. Pengetanahan Netral Sistem Tenaga dan Pengetanahan Peralatan. Penerbit Erlangga. Jakarta.



## 2.6 Komponen Pentanahan

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

### 2.6.1 Hantaran Penghubung

Seperti yang kita ketahui pada instalasi listrik suatu saluran penghantar yang menghubungkan titik kontak pada badan atau rangka peralatan listrik dengan elektroda bumi. Pada instalasi penangkal petir yaitu saluran penghantar yang menghubungkan titik kontak pada terminal pentanahan batang dengan elektroda bumi. Kalau generator atau transformator, yaitu menghubungkan titik netralnya dengan elektroda pentanahan.

### 2.6.2 Elektroda Pentanahan

Yang dimaksud dengan elektroda pentanahan adalah penghantar yang ditanam dalam bumi dan membuat kontak langsung dengan bumi. Sedangkan menurut SNI 225-87/320.A.1, elektroda pentanahan adalah sebuah atau sekelompok penghantar yang mempunyai kontak yang erat dengan bumi dan mengentrai hubungan listrik dengan bumi. Elektroda pentanahan tertanam sedemikian rupa dalam tanah berupa pita logam, batang konduktor, pipa air minum dari tulang besi beton pada tiang pancang.<sup>3)</sup> Elektroda pentanahan merupakan bagian yang langsung menyebarkan arus kedalam bumi, hubungan atau kontak elektroda dengan bumi merupakan bagian yang langsung menyebarkan arus kedalam bumi, hubungan atau kontak elektroda dengan bumi ini harus sebaik mungkin, tahan terhadap gangguan arus listrik, korosi maupun gangguan mekanik. Jadi yang diharapkan adalah hubungan listrik dengan impedansi yang serendah mungkin dan tahan lama. Ada beberapa macam elektroda pentanahan yang biasa dipakai, diantaranya elektroda pentanahan pita dan elektroda batang.

#### a. Sifat-Sifat dari Sebuah Sistem Elektroda Tanah

Hambatan arus melewati sistem elektroda tanah tiga komponen, yaitu :

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

---

<sup>2)</sup> TS Hutauhuruk. 1991. Pengetanahan Netral Sistem Tenaga dan Pengetanahan Peralatan. Penerbit Erlangga. Jakarta.

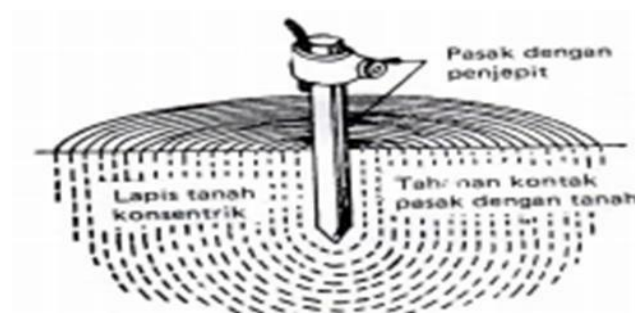




Pasak-pasak tanah, batang-batang logam, struktur dan peralatan lain biasa digunakan untuk elektroda tanah. Elektroda-elektroda ini umumnya besar dan penampangnya sedemikian, sehingga tahanannya dapat diabaikan terhadap tahanan keseluruhan sistem pentanahan.

Tahanan antara elektroda dan tanah jauh lebih kecil dari yang biasanya diduga. Apabila elektroda bersih dari cat atau minyak, dan tanah dapat dipasak dengan kuat maka biro Standarisasi Nasional Amerika Serikat menyatakan bahwa tahanan kontak dapat diabaikan.

Pasak dengan tahanan seragam yang ditanam ketanah akan menghantarkan arus kesemua jurusan. Jika ditinjau suatu elektroda yang ditanam di tanah yang terdiri atas bagian-bagian tanah dengan ketebalan yang sama seperti gambar berikut.



Gambar 2.7 Komponen sistem pentanahan<sup>1)</sup>

Lapisan tanah terdekat dengan pasak sendirinya memiliki permukaan paling sempit, sehingga memberikan tahanan terbesar. Lapisan berikutnya, karena lebih luas, memberikan tahanan yang lebih kecil. Demikian seterusnya, sehingga pada suatu jarak tertentu dari pasak. Jarak ini disebut daerah tahanan efektif, yang juga sangat tergantung pada kedalaman pasak. Dari ketiga macam komponen, tahanan tanah merupakan besaran yang paling kritis dan paling sulit dihitung atau pun dibatasi.

<sup>1)</sup> AS Pabla dan Abdul Hadi. 1991. Sistem Distribusi Daya Listrik. Penerbit Erlangga. Jakarta.



## 2.7 Tahanan Jenis Tanah dan Tipe Tanah

Tanah merupakan campuran dari partikel-partikel cair, padat dan gas. Susunan tanah itu sendiri memberikan suatu petunjuk yang baik pada tingkat mana tahanan jenis tanah itu akan diperkirakan. Tahanan jenis tanah dipengaruhi oleh berbagai macam faktor, oleh karena tahanan jenis tidak dapat diberikan sebagai suatu nilai yang ditetapkan. Sering dicoba untuk mengubah komposisi tanah dengan memberikan garam pada tanah yang dekat pada elektroda pentanahan, dengan maksud mendapat jenis tanah yang rendah.

Cara ini hanya baik untuk sementara, sebab proses penggaraman harus dilakukan secara periodik sedikit-dikitnya enam bulan sekali. Untuk mengurangi variasi tahanan jenis tanah yang konstan. Pada sistem pentanahan tidak perlu ditanam lebih dalam sehingga mencapai air tanah yang konstan, maka variasi tanah sangat besar, karena kadangkala dipengaruhi oleh temperatur dan kelembaban secara bervariasi.

Harga tahanan jenis tanah harus diambil untuk keadaan yang paling buruk yaitu sewaktu tanah dalam keadaan kering dan dingin. Untuk melihat gambaran mengenai besarnya tahanan jenis tanah untuk bermacam-macam jenis tanah dapat dilihat pada tabel dibawah ini.

Tabel 2.1 Tahanan Jenis Tanah <sup>1)</sup>

| Jenis Tanah                 | Tahanan Jenis Tanah (ohm-m) |
|-----------------------------|-----------------------------|
| Tanah rawa                  | 30                          |
| Tanah liat dan tanah lading | 100                         |
| Pasir Basah                 | 200                         |
| Kerikil Basah               | 500                         |
| Pasir dan kerikil kering    | 1000                        |
| Tanah berbatu               | 3000                        |

<sup>1)</sup> AS Pabla dan Abdul Hadi. 1991. Sistem Distribusi Daya Listrik. Penerbit Erlangga. Jakarta.



Dalam penggunaan data-data diatas sering terjadi kesulitan karena komposisi tanah biasanya terdiri dari dua atau lebih kombinasi lapisan dari bermacam-macam tanah. Hal yang penting dalam menyelidiki karakteristik tanah ialah mencari tahanan jenis tanah. Harga tahanan jenis tanah ini selalu bervariasi sesuai dengan keadaan tanah pada saat pengukuran, karena itu sebaiknya dicantumkan keadaan cuaca dan basah keringnya tanah pada waktu pengukuran dilakukan.

Pengukuran tahanan jenis tanah pada lokasi gardu induk diambil dari titik lokasi. Tahanan jenis tanah dapat dihitung dengan menggunakan rumus yang tertulis :

$$\rho = 2\pi \cdot d \cdot R \dots\dots\dots (2.2)^1$$

dimana :

$\rho$  = tahanan jenis rata-rata tanah (ohm-meter)

$d$  = jarak antara batang elektroda yang terdekat (meter)

$R$  = besar tahanan yang diukur (ohm)

## 2.8 Pengaruh Kelembaban

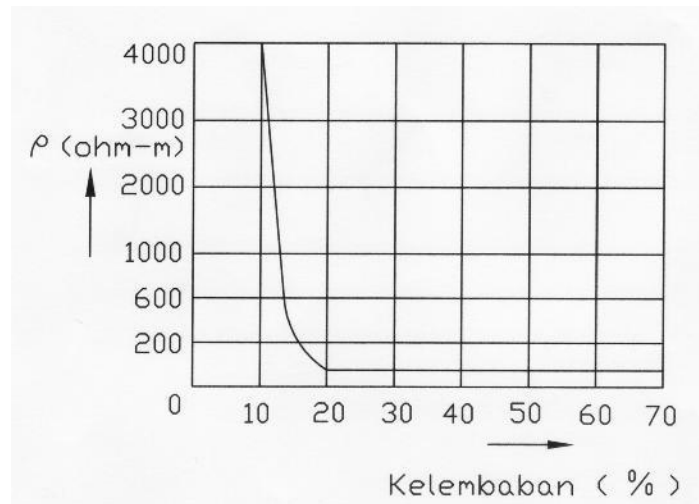
Harga tahanan jenis tanah sangat dipengaruhi oleh konsentrasi air tanah. Pada kelembaban tanah yang rendah tahanan jenis tanah besar, sebaliknya semakin besar konsentrasi air dalam tanah, maka harga tahanan jenis akan semakin kecil. Proses mengalirnya arus listrik didalam tanah sebagai besar adalah karena proses elektrolisis, maka dari itu didalam air tanah akan mempengaruhi konduktivitas atau daya hantar listrik tanah tersebut. Dengan demikian tahanan jenis tanah akan dipengaruhi pula oleh besaran konsentrasi air tanah. Semakin besar konsentrasi air di dalam tanah maka konduktivitas tanah akan semakin besar, sehingga tahanan jenis tanah akan turun sesuai dengan hubungan pada gambar 2.8 dibawah ini.

---

<sup>1)</sup> AS Pabla dan Abdul Hadi. 1991. Sistem Distribusi Daya Listrik. Penerbit Erlangga. Jakarta.



Tanah yang kering atau tanah dengan konsentrasi air dalam tanahnya rendah sekali (dibawah 10 mempunyai tahanan jenis yang besar sekali atau dengan kata lain merupakan isolator yang baik. Tetapi dengan kenaikan konsentrasi air sampai 15 %, tahanan jenis tanah akan menurun dengan cepat sekali.



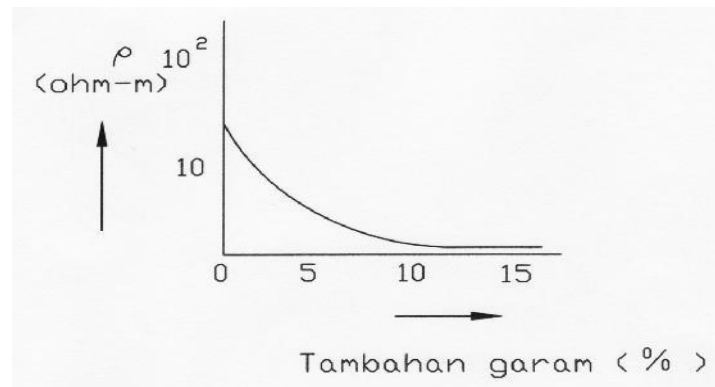
Gambar 2.8 Perubahan Tahanan Jenis Tanah Terhadap Kelembaban

Satu hal yang menarik dari gambar 2.8 adalah bahwa harga tahanan jenis tahanan tanah menunjukkan adanya kejenuhan untuk kelembaban harga tahanan diatas 15 %, maka kenaikan dsari kelembaban tidak banyak terhadap tahanan jenis tanah.

Oleh karena itu, penting bagi kita untuk menambakan elektroda pentanahan pada tempat yang berhubungan langsung dengan air tanah. Untuk melakukan hal ini elektroda-elektroda pentanahan ditanam di tempat-tempat yang cukup dalam di bawah permukaan air.

Dengan jalan demikian pula, maka pengaruh perubahan musim terhadap tahanan jenis tanah atau terhadap tahanan pentanahan elektroda dapat diperkecil. Cara lain untuk memperkecil tahanan jenis tanah serta pengaruh dari musim adalah dengan jalan memberikan semacam zat kimia disekitar elektroda secara periodik yang terlihat pada gambar 2.9 dibawah ini.

<sup>1)</sup> AS Pabla dan Abdul Hadi. 1991. Sistem Distribusi Daya Listrik. Penerbit Erlangga. Jakarta.

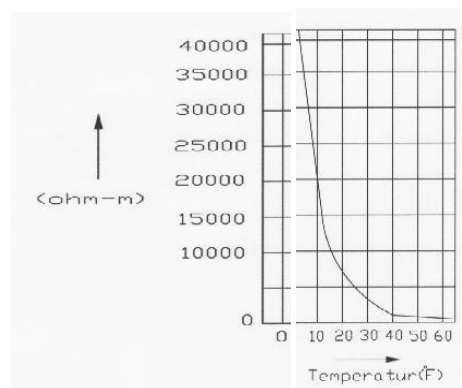


Gambar 2.9 Penggaramaan Tanah

Zat kimia tersebut akan memperkecil tahanan jenis tanah disekitar elektroda pentanahan, sehingga tahanan pentanahan serta perubahannya karena musim akan menjadi kecil.

## 2.9 Pengaruh Suhu atau Temperatur

Temperatur tanah disekitar elektroda pentanahan juga berpengaruh terhadap besaran tahanan jenis tanah terutama bila temperatur dibawah titik beku.



Gambar 2.10 Pengaruh temperatur terhadap tahanan jenis tanah

Dibawah harga titik beku, perubahan temperatur yang sedikit saja akan menyebabkan harga tahanan jenis tanah tersebut dengan cepat mengalami kenaikan. Pada temperatur dibawah titik beku, air didalam tanah akan membeku, molekul-molekul air dalam tanah akan sulit untuk bergerak sehingga daya hantar listrik tanah menjadi rendah sekali.



## 2.10 Macam-Macam Elektroda Pentanahan

Ada beberapa macam bentuk pentanahan<sup>2)</sup>

1. Berbentuk batang
2. Berbentuk plat
3. Berbentuk pita

### 2.10.1 Elektroda Bantuk Batang

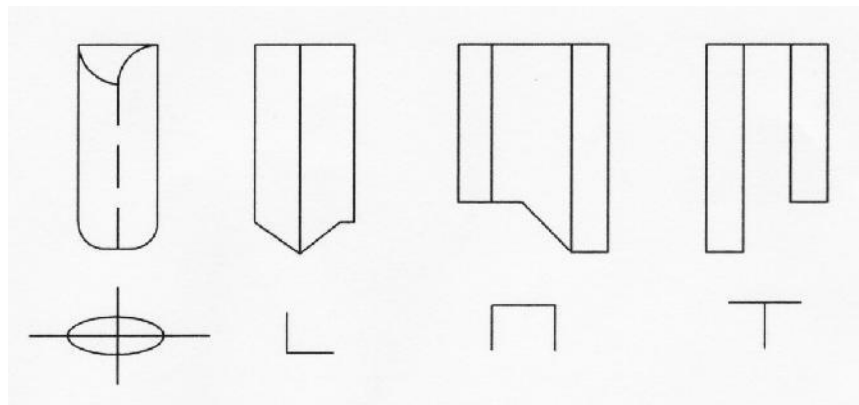
Elektroda batang terbuat dari batang atau pipa logam yang di tanam vertikal di dalam tanah. Biasanya dibuat dari bahan tembaga, stainless steel atau galvanized steel. Perlu diperhatikan pula dalam pemilihan bahan agar terhindar dari *galvanic couple* yang dapat menyebabkan korosi.

Elektroda batang adalah elektroda berbentuk pita atau batang baja profil maupun logam lain yang dipasangkan tegak lurus ke dalam tanah. Dalam pemasangan elektroda batang di usahakan setegak lurus mungkin, dengan tujuan agar dicapai kedalaman yang maksimum, dimana diharapkan terdapat lapisan tanah dengan tahanan jenis yang cukup rendah. Dalam perhitungan diasumsikan batang tertanam tegak lurus, sehingga kedalaman elektroda tertanam sama dengan panjangnya batang yang ditanam. Besarnya tahanan pentanahan elektroda batang tergantung pada kedalaman batang yang tertanam, tetapi ada kalanya dengan menggunakan sebuah elektroda batang saja tidak tercapai nilai tahanan pentanahan yang diinginkan, sehingga dalam pemasangannya sering digunakan bebrapa elektroda batang yang dihubungkan satu dengan yang lainnya. Elektroda batang ini ditanam dengan kedalaman antara 1 – 10 meter.

Elektroda pentanahan bentuk batang terbuat dari pipa atau propil. Elektroda ini ditanam tegak lurus dalam tanah, elektroda batang yang digunakan ini memiliki bentu L, U dan T dibentuk sedemikian rupa. Dibawah ini digambarkan macam bentuk elektoda batang.

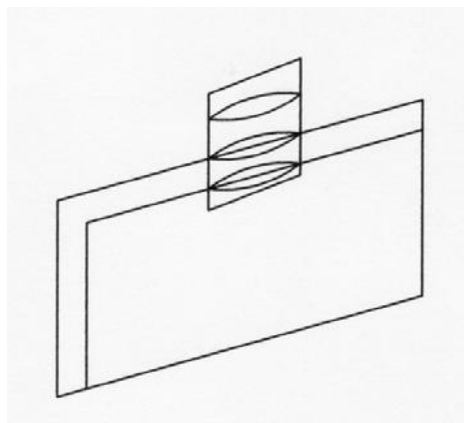
---

<sup>2)</sup> TS Hutauhuruk. 1991. Pengetanahan Netral Sistem Tenaga dan Pengetanahan Peralatan. Penerbit Erlangga. Jakarta.

Gambar 2.11 Macam-macam Elektroda Batang<sup>6)</sup>

### 2.10.2 Elektroda Bentuk Plat

Elektroda berbentuk plat ini terdiri dari sebuah plat yang hipersink dengan permukaan  $1 \text{ m}^2$  dengan tebal 3mm. Plat ditanam tegak lurus dengan tanah. Sisi plat bagian atas sedikit harus 1 m dibawah permukaan tanah. Makin banyak jumlah plat dipararelkan dalam pentanahan itu makin kecil tahanan pentanahan itu, dan plat yang terpasang itu jarak satu sama lain paling sedikit 3 m.

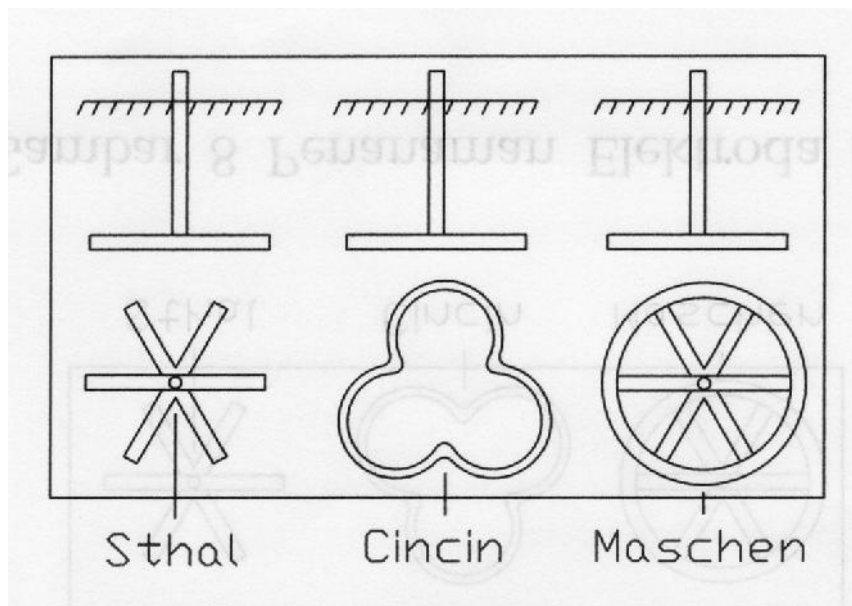
Gambar 2.12 Elektroda Plat<sup>5)</sup>

<sup>5)</sup> Agus Purnama. 2013. Elektronika Dasar. Jakarta. <http://elektronika-dasar.web.id/teori-elektronika/nilai-resistansi-grounding-yang-baik/>



### 2.10.3 Elektroda Bentuk Pita

Elektroda ini dibuat dari baja yang dihipersink dengan penampang  $100 \text{ mm}^2$  tebal 3 mm. Kalau dibuat dari tembaga penampangnya  $50 \text{ mm}^2$ . Elektroda ini ditanam dalam tanah sedalam 0,5 sampai 1 m. Elektroda bentuk pita ini terdiri dari 3 macam yaitu bentuk sharl, bentuk cincin, bentuk maschen seperti yang ditunjukkan pada gambar 2.13.



Gambar 2.13 Elektroda Pita<sup>5)</sup>

### 2.11 Faktor-faktor yang Menentukan Tahanan Pentanahan

Tahanan pentanahan elektroda tergantung dari beberapa faktor yaitu :

1. Panjang elektroda itu sendiri dan penghantar yang menghubungkannya.
2. Tahanan kontak antara elektroda dengan tanah.
3. Tahanan dari jenis tanah sekeliling elektroda.

<sup>5)</sup> Agus Purnama. 2013. Elektronika Dasar. Jakarta. <http://elektronika-dasar.web.id/teori-elektronika/nilai-resistansi-grounding-yang-baik/>



## 2.12 Pengaruh Tahanan Tanah Terhadap Tahanan Elektroda

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 elektroda atau pasak harus ditanam agar diperoleh tahanan yang rendah. Tahanan tanah sangat bervariasi di berbagai tempat, dan berubah tahanannya menurut iklim. Tahanan tanah ini ditentukan oleh kandungan elektrolit didalamnya, kandungan air, mineral-mineral, dan garam-garam. Tanah yang kering mempunyai tahanan yang tinggi, tetapi tanah yang basah dapat juga mempunyai tahanan yang tinggi apabila tidak mengandung garam-garam yang dapat larut.

Karena tahanan tanah berkaitan langsung dengan air dan suhu, maka dapat saja diasumsikan bahwa tahanan pentanahan suatu sistem akan berubah sesuai perubahan iklim setiap tahunnya. Variasi-variasi tersebut dapat dilihat karena kandungan air dan suhu lebih stabil pada kedalaman yang lebih besar, maka agar dapat bekerja efektif sepanjang waktu, sistem pentanahan dapat dikonstruksikan dengan elektroda atau pasak tanah yang ditancapkan cukup dalam dibawah permukaan tanah. Hasil terbaik akan diperoleh apabila kedalaman elektroda atau pasak mencapai tingkat kandungan air yang tetap.<sup>2)</sup>

## 2.13 Ukuran-ukuran Penghantar Tanah

Penghantar-penghantar dan elektroda-elektroda baja digunakan untuk saluran distribusi dan pentanahan substation. Luas minimum penghantar yang diperlukan dapat dicari dari rumus berikut :

Luas dalam  $\text{mm}^2 = 12,15 \times 10^{-3} I\sqrt{t}$  untuk sambungan-sambungan yang dilas =  
 $15,7 \times 10^{-3} I\sqrt{t}$  untuk sambungan-sambungan dengan sekrup.

Dimana :

I = Arus gangguan dalam Ampere

t = Lamanya terjadi gangguan, biasanya diambil dari 5

---

<sup>2)</sup> TS Hutaheuruk. 1991. Pengetanahan Netral Sistem Tenaga dan Pengetanahan Peralatan. Penerbit Erlangga. Jakarta.

Dalam memilih penghantar, selain stabilitas termal sesuai dengan penggunaan rumus diatas, kekuatan terhadap gerak mekanis dan terhadap korosi pemilihan penghantar dapat dipertimbangkan. Terhadap gerak mekanis ukuran minimum penghantar baja plat strip tidak boleh kurang dari 10 x 6 mm<sup>2</sup> dan untuk ketahanan terhadap korosi pemilihan penghantar dapat mempertimbangkan hal-hal berikut :

1. Untuk tanah yang bersifat korosif sangat lambat, dengan tahanan diatas 100 ohm-m, tidak ada batas perkenan korosi (*corrosion allowance*)
2. Untuk tanah yang bersifat korosif lambat, dengan tahanan 25-100 ohm-m, batas perkenan korosi adalah 15 % dengan pemilihan penghantar sudah mempertimbangkan faktor stabilitas termal.
3. Untuk tanah yang bersifat korosif cepat, dengan tahanan kurang dari 25 ohm-m, batas perkenan korosi adalah 30 % dengan pemilihan penghantar sudah mempertimbangkan faktor stabilitas termal

Dibandingkan dengan sambungan sekrup pada sambungan las dapat timbul sedikit korosi pada sambungan oleh bahan las atau teknik pengelasannya sendiri. Hindarkan cara las titik dan gunakan las kontinyu. Penghantar dapat dipilih dari ukuran-ukuran standar seperti 10 x 6 mm<sup>2</sup>, 20 x 6 mm<sup>2</sup>, 30 x 6 mm<sup>2</sup>, 40 x 5 mm<sup>2</sup>, 50 x 6 mm<sup>2</sup>, 60 x 6 mm<sup>2</sup>, 50 x 8 mm<sup>2</sup>, 65 x 8 mm<sup>2</sup>.

## 2.14 Penghantar Tanah

Fungsi penghantar untuk menyalurkan energi dari satu titik ke titik yang lain. Penghantar yang digunakan dalam kelistrikan adalah berisolasi dapat berupa kawat berisolasi atau kabel. Ada juga penghantar tanpa isolasi atau BC. Bahan BC (*Bare Conductor*), penghantar berlubang (*Hollow Conductor*), ACSR (*Aluminium Conductor Steel Reinforced*), dan ACAR (*Aluminium Conductor Alloy Reinforced*) bahan penghantar yang kebanyakan digunakan adalah aluminium dan tembaga. Dalam hal ini bahan penghantar yang digunakan untuk pentanahan sering menggunakan penghantar dari bahan tembaga atau BC.

Berikut perbandingan beberapa sifat antara aluminium dan tembaga dapat dilihat dari tabel yang ada dibawah ini :

Tabel 2.2 Perbandingan Antara Aluminium dan Tembaga <sup>1)</sup>

| Sifat             | Aluminium                            | Tembaga                             |
|-------------------|--------------------------------------|-------------------------------------|
| Massa Jenis       | 2,7 g / cm <sup>3</sup>              | 8,96 g / cm <sup>3</sup>            |
| Kekuatan Tarik    | 20-30 kg / cm <sup>2</sup>           | 40 kg / cm <sup>2</sup>             |
| Daya Tahan        | 0,0175 $\Omega$ -m / mm <sup>2</sup> | 0,029 $\Omega$ -m / mm <sup>2</sup> |
| Daya Hantar Jenis | 57 mm <sup>2</sup> / $\Omega$ -m     | 35 mm <sup>2</sup> / $\Omega$ -m    |

### 2.15 Hukum Ohm

Tegangan volt ialah tegangan yang dapat mengalirkan arus ampere melalui tahanan ohm. Hasil penyelidikan George Simon Ohm bahwa jika tegangan dinaikkan 2 kali tahanan tetap, maka kuat arusnya juga akan naik 2 kali. Sedangkan arus dalam rangkaian berubah sebanding lurus dengan tegangan yang dipakai. Jika tegangannya tetap tetapi tahanannya diperbesar 2 kali maka arus yang mengalir akan menjadi setengah dan jika tahanannya diperkecil menjadi setengahnya, maka arusnya naik menjadi 2 kali. Arus dalam rangkaian akan naik apabila tahanannya turun, dan arus turun jika tahanannya naik. Untuk tegangan dc yaitu :

$$E = I.R \dots\dots\dots (2.3)^1$$

$$I = E/R \dots\dots\dots (2.4)^1$$

$$R = E/I \dots\dots\dots (2.5)^1$$

dimana :

E = Tegangan listrik dalam satuan (V)

I = Kuat arus dalam satuan (A)

R = Tahanan listrik dalam satuan ( $\Omega$ )

---

<sup>1)</sup> AS Pabla dan Abdul Hadi. 1991. Sistem Distribusi Daya Listrik. Penerbit Erlangga. Jakarta.

## 2.16 Metode Pentanahan pada Gardu

Berikut penggunaan metode pentanahan pada gardu:

### 2.16.1 Kriteria Perencanaan Pentanahan<sup>3)</sup>

Yang menjadi kriteria dalam perencanaan pentanahan ialah keandalan yang tinggi dengan memperhatikan faktor keselamatan manusia dan ekonomi.

1. Faktor keandalan meliputi sistem ini meliputi antara lain :
  - a. Pemilihan cara pembumian netral sistem dan pengamanannya
  - b. Penyesuaiannya pada interkoneksi.
2. Faktor keselamatan adalah usah keselamatan manusia dalam maupun diluar Gardu Induk. Faktor meliputi usaha-usaha :
  - a. Keselamatan dan keadaan tidak ada gangguan.
  - b. Keselamatan dalam keadaan ada gangguan.
3. Faktor ekonomi mempertimbangkan investasi dari :
  - a. Pemilihan pentanahan netral sistem dan pengamanannya.
  - b. Pemilihan tingkat isolasi dasar (TID) peralatan utama dan koordinasi isolasinya.
  - c. Usaha memperbaiki pengaruh induktif dan iterferensi radio.
  - d. Faktor iklim juga bisa mempengaruhi besar tahanan pentanahan pada gardu induk

### 2.16.2 Pentanahan Peralatan Penangkal Petir

Arrester merupakan suatu alat yang berfungsi untuk mengamankan peralatan dalam sistem koordinasi isolasi pada instalasi tenaga listrik dari petir, maka pemasangan alat ini harus betul – betul memenuhi persyaratan teknis. Karena fungsi arrester adalah mengalirkan arus lebih ketanah apabila terjadi gangguan petir maupun over voltage, maka sistem pembumiannya harus memenuhi standar yang ditentukan.

Dalam praktek kebanyakan arrester dilakukan dengan pentanahan lokal, yaitu rods yang dimasukan ketanah dekat dengan arrester. Selanjutnya dari terminal pentanahan arrester kita hubungkan ke rods dengan menggunakan konduktor.

---

<sup>3)</sup> PT PLN (Persero). 2012. SK Direksi Bidang Transmisi Sistem Pentanahan. Jakarta.

Untuk sistem yang digunakan pada gardu induk yang bersangkutan, besarnya tahanan peentanahan untuk arrester harus dibuat sekecil mungkin dan harganya dibatasi dibawah 5 ohm. Pemilihan kawat pentanahan harus memenuhi persyaratan dan menurut National Elektrik code, besarannya kawat tanah tidak boleh lebih kecil dari No. 6 AWG. Dan untuk sistem yang tegangan lebih besar harus memakai kawat yang yang lebih besar.untuk tegangan antara 413 kV dianjurkan menggunakan kawat No. 2 AWG.

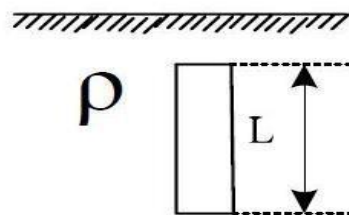
## 2.17 Menghitung Tahanan Pentanahan

Besar tahanan dari berbagai pentanahan tanah dapat dihitung dengan menggunakan persamaan dibawah ini.

### 2.17.1 Elektroda Batang (Rod)

Elektroda batang adalah elektroda dari pipa atau besi profil yang dipasang ke dalam tanah. Elektroda ini merupakan elektroda yang pertama kali digunakan sekaligus menjadi landasan teori – teori baru dari elektroda jenis lain. Secara teknis, elektroda batang ini mudah pemasangannya, yaitu dengan menancabkannya kedalam tanah.kelebih elektroda jenis batang (ROD) adalah tidak memerlukan lahan yang luas. Elektroda ini sering digunakan pada gardu – gardu induk.

#### a. Elektroda Batang Tunggal



Gambar 2.14 Penggunaan Elektroda Batang Tunggal<sup>8)</sup>

$$R = \frac{\rho}{2 \times \pi \times L} \times \left[ \left( \ln \frac{4 \times L}{a} \right) - 1 \right] \dots\dots\dots (2.6)^2$$

<sup>2)</sup> TS Hutaheuruk. 1991. Pengetanahan Netral Sistem Tenaga dan Pengetanahan Peralatan. Penerbit Erlangga. Jakarta.

<sup>7)</sup> SMKN 1 Singasari. 2012. Pentanahan dan Jenis Arde Tanah. Malang. [portal.smkn1-sgs.sch.id/Teacher/7.1.13.1/1.31/pentanahan.ppt](http://portal.smkn1-sgs.sch.id/Teacher/7.1.13.1/1.31/pentanahan.ppt)

Dimana :

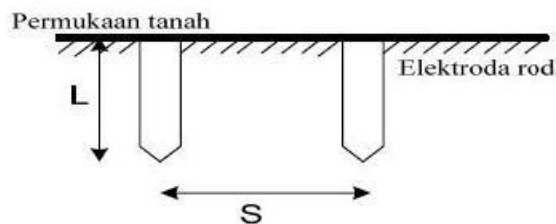
$R$  = tahanan pentanahan ( $\Omega$ )

$\rho$  = tahanan jenis tanah ( $\Omega\text{m}$ )

$L$  = panjang elektroda (m)

$a$  = jari-jari elektroda batang (m)

b. Dua Batang Elektroda



Gambar 2.15 Penggunaan Dua Batang Elektroda<sup>7)</sup>

$$L = \frac{\rho}{4 \times \pi \times L} \times \left[ \left( \ln \frac{4 \times L}{a} \right) - 1 \right] + \frac{\rho}{\pi \times S} \left( 1 - \frac{L^2}{3S^2} + \frac{2L^4}{5S^4} \right) \quad (2.7)^{2)}$$

Untuk  $S > L$ , dan

$$R = \frac{\rho}{4 \cdot \pi \cdot L} \times \left( \ln \frac{4L}{a} + \ln \frac{4L}{s} - 2 + \frac{s}{2L} - \frac{s^2}{16L^2} + \frac{s^4}{512L^4} \right) \quad (2.8)^{2)}$$

Untuk  $S < L$

Dimana :

$R$  = tahanan pentanahan ( $\Omega$ )

$\rho$  = tahanan jenis tanah ( $\Omega\text{m}$ )

$L$  = panjang elektroda (m)

$S$  = jarak penanaman antara dua elektroda (m)

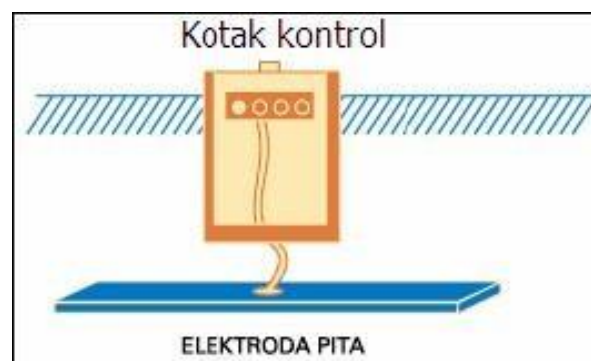
$a$  = jari-jari elektroda (m)

<sup>2)</sup> TS Hutaheuruk. 1991. Pengetanahan Netral Sistem Tenaga dan Pengetanahan Peralatan. Penerbit Erlangga. Jakarta.

<sup>7)</sup> SMKN 1 Singasari. 2012. Pentanahan dan Jenis Arde Tanah. Malang. [portal.smkn1-sgs.sch.id/Teacher/7.1.13.1/1.31/pentanahan.ppt](http://portal.smkn1-sgs.sch.id/Teacher/7.1.13.1/1.31/pentanahan.ppt)

### 2.17.2 Elektroda Pita

Elektroda pita adalah elektroda yang terbuat dari hantaran berbentuk pita atau berpenampang bulat atau hantaran pilin yang pada umumnya ditanam secara dalam. Pemasangan elektroda jenis ini akan sulit dilakukan bila mendapati lapisan – lapisan tanah yang berbatu.



Gambar 2.16 Penggunaan Elektroda Pita<sup>7)</sup>

$$R = \frac{\rho}{\pi \times L} \times \left[ \ln \left( \frac{1,4 \times L}{\sqrt{d \times Z}} \right) \right] \quad (2.8)^{7)}$$

Dimana :

R = tahanan pentanahan ( $\Omega$ )

$\rho$  = tahanan jenis tanah ( $\Omega\text{m}$ )

L = panjang total grid kawat (m)

d = diameter kawat (m)

Z = kedalaman penanaman (m)

A = luasan yang dicakup oleh grid (m)

<sup>7)</sup> SMKN 1 Singasari. 2012. Pentanahan dan Jenis Arde Tanah. Malang.  
[portal.smkn1-sgs.sch.id/Teacher/7.1.13.1/1.31/pentanahan.ppt](http://portal.smkn1-sgs.sch.id/Teacher/7.1.13.1/1.31/pentanahan.ppt)

### 2.17.3 Elektroda Plat

Elektroda plat adalah elektroda dari bahan pelat logam (utuh atau berlubang) atau dari kawat kasa. Elektroda ini digunakan bila diinginkan tahanan pentanahan yang kecil dan sulit diperoleh dengan menggunakan jenis – jenis elektroda yang lain. Pada umumnya elektroda ini ditanam dalam.



Gambar 2.17 Penggunaan Elektroda Plat<sup>7)</sup>

$$R = \frac{\rho}{2 \times \pi \times L} \times \left[ \left( \ln \frac{8 \times W}{0,5 W + T} \right) - 1 \right] \quad (2.9)^{7)}$$

Dimana :

R = tahanan pentanahan ( $\Omega$ )

$\rho$  = tahanan jenis tanah ( $\Omega\text{m}$ )

L = panjang pelat (m)

W = lebar pelat (m)

T = tebal pelat (m)

### 2.18 Standarisasi Tahanan Pentanahan

Seperti yang diketahui bahwa tahanan pentanahan suatu sistem harus bernilai yang sekecil-kecilnya. Persyaratan Umum Instalasi Listrik (PUIL) 2000 menyatakan bahwa nilai tahanan pentanahan untuk sebuah instalasi listrik ialah maksimum 5  $\Omega$  dan jika instalasi listrik tersebut dibangun diatas tanah dengan tahanan jenis tanah yang cukup tinggi maka nilai tahanan pentanahannya ialah maksimum 10  $\Omega$ .<sup>4)</sup>

<sup>7)</sup> SMKN 1 Singasari. 2012. Pentanahan dan Jenis Arde Tanah. Malang.  
[portal.smkn1-sgs.sch.id/Teacher/7.1.13.1/1.31/pentanahan.ppt](http://portal.smkn1-sgs.sch.id/Teacher/7.1.13.1/1.31/pentanahan.ppt)

<sup>4)</sup> PT PLN (Persero). PUIL 2000

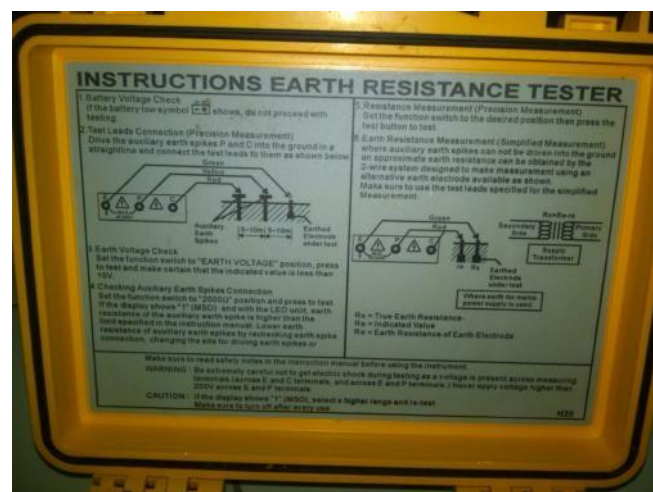


## 2.19 Pengukuran Tahanan Pentanahan

Alat yang digunakan adalah Earth Resistance Tester, yang didesain dan dikeluarkan menurut *safety standart* oleh IEC-1010 (EN 61010). Alat ini berguna untuk mengukur tahanan elektroda pentanahan. Alat ini mempunyai tiga buah terminal, yaitu terminal untuk kabel hijau akan dihubungkan dengan elektroda yang akan diukur tahanannya, dan terminal untuk kabel merah dan kabel kuning akan dihubungkan dengan elektroda bantu yang terdapat pada alat ukur ini sendiri.



Gambar 2.18 Earth Tester yang digunakan



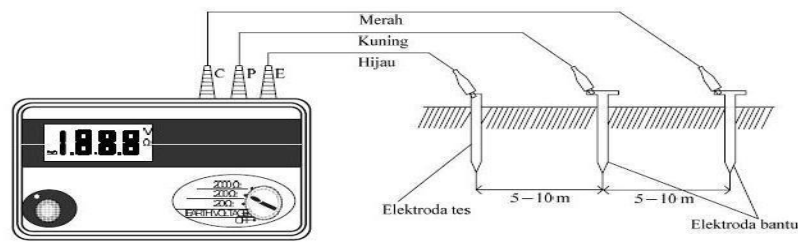
Gambar 2.19 Instruksi Pemasangan Kabel pada Elektroda



Gambar 2.20 Elektroda Bantu Dan Kabel yang Digunakan pada Pengukuran Nilai Tahanan Pentanahan

#### 2.19.1 Langkah Pelaksanaan

1. Mengeluarkan semua kabel atau konduktor dari rangkaian peralatan
2. Membersihkan ujung kabel atau konduktor pentanahan yang akan diukur dengan menggunakan amplas atau sikat baja jika terdapat kotoran atau korosi
3. Memasang kabel pada terminal alat ukur
  - Kabel yang berwarna hijau (E) disambungkan ke kawat elektroda yang akan diukur nilai tahanannya (gambar 2.19)
  - Kabel yang berwarna kuning (P) disambungkan ke elektroda bantu alat ukur yang sudah ditanamkan di dalam tanah (gambar 2.19)
  - Kabel yang berwarna merah (C) disambungkan ke elektroda bantu alat ukur yang sudah ditanamkan di dalam tanah dengan jarak yang lebih jauh daripada kabel kuning gambar (2.19)



Gambar 2.21 Skema pemasangan kabel pada elektroda batang

4. Menanamkan kedua elektroda bantu alat ukur ke dalam tanah di dua titik. Kedua titik ini harus membentuk garis lurus dan berjarak 5 m yang merupakan jarak terdekat dari pentanahan peralatan yang akan diukur
5. Menghubungkan ujung kabel E ke kawat atau konduktor pentanahan peralatan yang akan diukur. Menghubungkan kabel kuning (C) dan kabel merah (P) ke elektroda bantu dengan posisi tegak lurus.
6. Setelah terminal sudah terpasang semua, menghidupkan alat Earth Tester Resistance, lalu menekan tombol ukur maka alat ini akan mulai mengukur
7. Mengamati dan mencatat penunjukkan angka pada layar alat ukur

#### 2.19.2 Langkah Evaluasi Pengukuran

- a. Membandingkan hasil pengukuran dengan standar PUIL
- b. Jika hasil pengukuran sesuai hentikan pengukuran atau pengukuran selesai, jika hasil pengukuran tidak sesuai dengan standar lakukan perbaikan dan mengukur kembali tahanannya

#### 2.19.3 Langkah Penyelesaian

- a. Menyimpan peralatan kerja dan alat ukur pada tempatnya
- b. Memperhatikan apakah ada benda atau alat tertinggal pada lokasi pengukuran
  1. Memeriksa baut kawat pentanahannya
  2. Memeriksa sambungan (klem) pentanahannya
  3. Kelayakan kawat dalam menghantarkan arus gangguan ke tanah

