

## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **2.1 Gardu Distribusi<sup>[11]</sup>**

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 Gardu Pasang Luar**

###### **A. Gardu Portal**



2.1 Gambar Gardu Portal



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.

### **B. Gardu Cantol**



Gambar 2.2 Gardu Cantol

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

### **C. Gardu Kios**



Gambar 2.3 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.

### 2.1.2 Gardu Pasang Dalam

#### A. Gardu Beton



Gambar 2.4 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. Konstruksi inidimaksudkan untuk pemenuhan persyaratan terbaik bagi keselamatan ketenagalistrikan.

#### B. Gardu Kubikel



Gambar 2.5 Gardu Kubikel



Kubikel adalah salah satu perlengkapan atau peralatan listrik yang bekerja sebagai penghubung penghubung dan pelindung serta membagi tenaga listrik dari sumber tenaga listrik, Kubikel istilah umum yang mencakup peralatan switching dan kombinasinya dengan peralatan kontrol, pengukuran, proteksi dan peralatan pengatur. Peralatan tersebut dirakit dan saling terkait dengan perlengkapan, selungkup dan penyangga. Sesuai IEC 298 : 1990 didespesifikasikan sebagai perlengkapan hubung bagi dan kontrol berselungkup logam rakitan pabrik untuk arus bolak-balik dengan tegangan pengenalan di atas 1 kV sampai dengan dan termasuk 35 kV, untuk pasangan dalam dan pasangan luar dan untuk frekuensi sampai 50 Hz. Berikut adalah Single Line Diagram ( SLD) dari kubikel:

Adapun komponen/konstruksi dari kubikel adalah:

1. Kompartemen
2. Rel / Busbar
3. Kotak Pemutus
4. Pemisah Hubung Tanah
5. Terminal Penghubung
6. Fuse Holder
7. Mekanik Kubikel
8. Lampu Indikator
9. Pemanas (Heater)
10. Handle Kubikel (Tuas Operasi)

## 2.2 Pentanahan

Pentanahan atau pembumian merupakan suatu usaha untuk mengamankan sistem instalasi listrik dengan cara mentanahkan badan (*body*) peralatan instalasi tersebut menggunakan elektroda pentanahan yang ditanamkan ke dalam tanah serta dihubungkan melalui suatu penghantar<sup>[12]</sup>

Sistem pentanahan adalah sistem yang berfungsi untuk mengamankan instalasi listrik, peralatan listrik, dan pengguna listrik serta bangunan dari bahaya tegangan sentuh dan kebocoran tegangan<sup>[12]</sup>. Adapun definisi sistem pentanahan menurut Sumardjati, Yahya, & Mashar pada tahun 2005 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<sup>[12]</sup>. Oleh karena itu, sistem pentanahan menjadi bagian esensial dari sistem tenaga listrik<sup>[1]</sup>.

Berdasarkan standar yang ada dalam PUIL 2000, resistans pembumian total seluruh sistem tidak boleh lebih dari 5  $\Omega$ . Untuk daerah yang resistans jenis tanahnya sangat tinggi, resistans pembumian total seluruh sistem boleh mencapai 10  $\Omega$ .<sup>[10]</sup>

### 2.3 Tujuan Pentanahan

Adapun tujuan sistem pentanahan secara umum adalah<sup>[12]</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 ketika terjadi transient.
6. Mengalihkan energi RF liar dari peralatan-peralatan seperti: audio, video, kontrol, dan komputer. Selain itu, menurut Miamail pada tahun 2011 terdapat Sistem pentanahan pada dasarnya mempunyai tiga tujuan<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 ucuhan 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 bagi pemegangnya. Jika ada bagian kawat yang berlistrik menyentuh bagian logam yang ditanahkan itu, akan terjadi hubungan singkat ke tanah dan sekering atau sistem pengamanan lain akan bekerja dan memutuskan hubungan listrik itu.

Pengetanahan peralatan berlainan dengan pengetanahan sistem, yaitu pengetanahan bagian dari peralatan yang pada kerja normal tidak dilalui arus. Tujuan dari pengetanahan peralatan tersebut adalah<sup>[4]</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 untuk semua kondisi operasi normal atau tidak normal.
2. Untuk memperoleh impedansi yang kecil atau rendah dari jalan balik arus hubung singkat ke tanah.

Secara singkat tujuan pengetanahan itu dapat diformulasikan sebagai berikut<sup>[4]</sup>:

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 gangguan tanah tanpa menimbulkan kebakaran atau ledakan pada bangunan atau isinya.
3. Untuk memperbaiki penampilan (performance) dari sistem.



Agar sistem pentanahan dapat bekerja secara efektif, sistem pentanahan harus memenuhi persyaratan-persyaratan sebagai berikut<sup>[8]</sup>:

1. Membuat jalur resistansi rendah ke tanah untuk pengamanan personil dan peralatan menggunakan rangkain yang efektif.
2. Dapat melawan dan menyebarkan gangguan berulang dan arus akibat surja hubung (surge currents).
3. Menggunakan bahan tahan korosi terhadap berbagai kondisi kimiawi tanah, untuk meyakinkan kontinuitas penampilannya sepanjang umur peralatan yang lindungi.
4. Menggunakan sistem mekanik yang kuat namun mudah dalam pelayanan.

## **2.4 Komponen Sistem Pentanahan**

Komponen sistem pentanahan secara garis besar terdiri dari dua bagian, yaitu hantaran penghubung dan elektroda pentanahan<sup>[5]</sup>.

### **2.4.1 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)<sup>[5]</sup>. 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 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 diatas 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.

#### **2.4.2 Elektroda Pentanahan**

Yang dimaksud dengan elektroda pentanahan adalah sebuah 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 airminum dari tulang besi beton pada tiang pancang<sup>[5]</sup>. Untuk mendapatkan harga resistansipentanahan yang serendah mungkin harus memenuhi beberapa persyaratan antara lain:

1. Resistansi elektroda pentanahan harus lebih kecil dari pada harga yang direkomendasikan.
2. Elektroda pentanahan harus mampu dialiri arus hubung singkat terbesar.
3. Elektroda pentanaha harus mempunyai sifat kimia yang baik sehingga tidak mudah mengalami korosi.
4. Elektroda pentanahan harus mempunyai sifat mekanis yang baik.

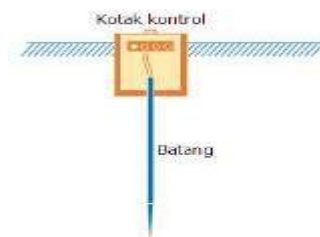
#### **2.4.3 Macam-macam Elektroda**

Pada umumnya elektroda - elektroda pentanahan ditanam sejajar satu sama lainnya untuk kedalaman beberapa puluh sentimeter didalam tanah. Untuk itu ada beberapa macam elektroda pentanahan yang biasa dipakai seperti elektroda batang, elektroda pita, dan elektroda plat.



## A. Elektroda Batang

Elektroda Batang (Rod), yaitu elektroda dari pipa atau besi baja profil yang dipancangkan ke dalam tanah. Elektroda ini merupakan elektroda yang pertama kali digunakan dan teori-teori berawal dari elektroda jenis ini. Elektroda ini banyak digunakan di gardu induk-gardu induk. Secara teknis, elektroda batang ini mudah pemasangannya, yaitu tinggal memancangkannya ke dalam tanah. Disamping itu, elektroda ini tidak memerlukan lahan yang luas<sup>[12]</sup>. Gambar 2.1 menunjukkan contoh dari elektroda batang.



Gambar 2. 6 Elektroda Batang

Contoh rumus tahanan pentanahan untuk elektroda batang tunggal:

$$R_G = R_R = \frac{\rho}{2\pi LR} \left[ \ln\left(\frac{4LR}{AR}\right) - 1 \right] \dots\dots\dots(2.1)$$

Dimana :

$R_G$  = Tahanan pentanahan (Ohm)

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

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

$LR$  = Panjang elektroda (meter)

$AR$  = Diameter elektroda (meter)

## B. Elektroda Pita

Elektroda pita adalah elektroda yang dibuat dari hantaran berbentuk pita atau berpenampang bulat atau hantaran pilin yang pada umumnya ditanam secara dalam. Pemasangan ini akan bermasalah apabila mendapat lapisan-lapisan tanah yang berbatu, disamping sulit pemasangannya, untuk mendapatkan nilai tahanan yang rendah juga bermasalah. Ternyata sebagai pengganti pemasangan

batang hantaran secara vertical ke dalam tanah, dapat dilakukan dengan menanam batang hantaran secara mendatar dan dangkal. Disamping kesederhanaannya itu, ternyata tahanan pentanahan yang dihasilkan sangat dipengaruhi oleh bentuk konfigurasi elektrodanya, seperti dalam bentuk melingkar, radial atau kombinasi antara keduanya<sup>[12]</sup>.



Gambar 2. 7 Elektroda Pita

$$R_G = R_W = \frac{\rho}{\pi L_W} \left[ \ln \left( \frac{2L_W}{\sqrt{d_W Z_W}} \right) + \frac{1,4L_W}{\sqrt{A_W}} - 5,6 \right] \dots \dots \dots (2.2)$$

Contoh rumus perhitungan tahanan pentanahan elektroda pita:

Dimana :

$R_G$  = Tahanan pentanahan (Ohm)

$R_W$  = Tahanan dengan kisi – kisi (grid)kawat (ohm)

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

$L_W$  = panjang total grid kawat (m)

$d_W$  = Diameter Kawat (meter)

$Z_W$  = Kedalaman penanaman (m)

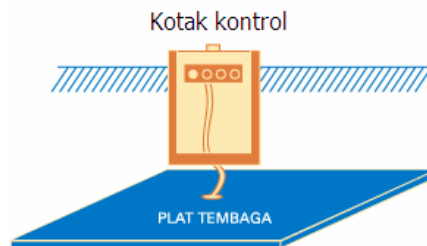
$A_W$  = Luasan yang dicakup dalam grid (m<sup>2</sup>)

### C. Elektroda Plat

Elektroda plat adalah elektroda dari bahan plat logam (utuh atau berlubang) dari kawat kasa. Pada umumnya elektroda ini ditanam dalam tanah. Elektroda ini digunakan bila diinginkan tahanan peralatan yang kecil dan sulit diperoleh dengan menggunakan jenis-jenis elektroda yang lain<sup>[12]</sup>. Bentuk elektroda plat biasanya



empat persegi atau empat persegi panjang. Cara penanaman biasanya secara vertical, sebab dengan menanam secara horizontal hasilnya tidak berbeda jauh dengan vertical. Penanaman secara vertical adalah lebih praktis dan ekonomis. Contoh dari gambar elektroda plat ditunjukkan pada gambar 2.3 dibawah ini.



Gambar 2. 8 Elektroda Plat

Contoh rumus perhitungan tahanan pentanahan elektroda pelat tunggal :

$$R_G = R_P = \frac{\rho}{2\pi L_P} \left[ \ln \left( \frac{8 W_P}{\sqrt{0,5 W_P + T_P}} \right) - 1 \right] \dots\dots\dots(2.3)$$

Dimana :

$R_G$  = Tahanan pentanahan (Ohm)

$R_P$  = 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)

#### D. Elektroda Jenis Lain

Selain ketiga elektroda pentanahan diatas yaitu elektroda batang, elektroda pita, dan elektroda plat, ada juga jenis elektroda lain yang biasa digunakan sebagai elektroda seperti:

##### a) Jaringan Pipa Air Minum

Jika jaringan pipa air minum dari logam dipakai sebagai elektrode bumi, maka harus diperhatikan bahwa resistans pembumiannya dapat menjadi besar



akibat digunakannya pipa sambungan atau flens dari bahan isolasi. Resistans pembumian yang terlalu besar harus diturunkan dengan menghubungkan jaringan tersebut dengan elektrode tambahan (misalnya selubung logam kabel). Jika pipa air minum dari logam dalam rumah atau gedung dipakai sebagai penghantar bumi, ujung pipa kedua sisi meteran air harus dihubungkan dengan pipa tembaga yang berlapis timah dengan ukuran minimum  $16 \text{ mm}^2$ , atau dengan pita baja digalvanisasi dengan ukuran minimum  $25 \text{ mm}^2$  (tebal pita minimum  $3 \text{ mm}$ )<sup>[3]</sup>.

### b) Selubung Logam Kabel

Selubung logam dari kabel yang tidak dibungkus dengan bahan isolasi sintetis dan ditanam langsung dalam tanah dapat dipakai sebagai elektroda pentanahan. Di kedua sisi dari kotak sambung, selubung logam ini harus saling dihubungkan dengan hantaran, konduktivitas hantaran penghubung ini harus sekurang – kurangnya sama dengan konduktivitas selubung logam tersebut ; luas penampang harus sekurang – kurangnya : [3]:

1.  $4 \text{ mm}^2$  Cu untuk kabel dengan luas penampang penghantar sampai dengan  $6 \text{ mm}^2$ .
2.  $10 \text{ mm}^2$  Cu untuk kabel tanah dengan luas penampang penghantar  $10 \text{ mm}^2$  atau lebih.

Untuk melihat ukuran minimum elektroda pentanahan lebih jelas dapat dilihat pada tabel 2.1.

Tabel 2. 1 Ukuran Minimum Elektroda Pentanahan<sup>[12]</sup>

No	Bahan Jenis Elektroda	Baja Digalvanisasi dengan Proses Pemanasan	Baja Berlapis Tembaga	Tembaga
1	Elektroda	Pita baja $100 \text{ mm}^2$ setebal minimum $3 \text{ mm}$	$50 \text{ mm}^2$	Pita tembaga $50 \text{ mm}^2$ tebal minimum $2 \text{ mm}$

	Pita	Penghantar pilin 95mm <sup>2</sup> (bukan kawat halus)		Penghantar pilin35 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 15 mm dilapisi tembaga setebal 250 μm	
3	Elektroda Pelat	Pelat besi tebal 3mm luas 0,5 m <sup>2</sup> sampai 1m <sup>2</sup>		Pelat tembaga tebal 2 mm luas0,5 m <sup>2</sup> sampai 1m <sup>2</sup>

## 2.5 Pentanahan dan Tahanan Pentanahan

Dalam sebuah instalasi listrik ada empat bagian yang harus ditanahkan atau sering juga disebut dibumikan empat bagian dari instalasi listrik ini adalah<sup>[6]</sup>:

### 2.5.1 Semua Logam

Semua bagian instalasi yang terbuat dari logam (menghantar listrik) dan dengan mudah bisa disentuh manusia. Hal ini perlu agar potensial dari logam yang mudah disentuh manusia selalu sama dengan potensial tanah (bumi) tempat manusia berpijak sehingga tidak berbahaya bagi manusia yang menyentuhnya.

### 2.5.2 Bagian Pembuangan

Bagian pembuangan muatan 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.

### 2.5.3 Kawat Petir

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.

### 2.5.4 Titik Netral

Titik netral dari transformator atau titik netral dari generator. Hal ini diperlukan dalam kaitan dengan keperluan proteksi khususnya yang menyangkut gangguan hubung tanah.

Tabel 2. 2 Tahanan Jenis Berbagai Macam Tanah dan Tahanan Pentanahannya<sup>[6]</sup>

Macam Tanah	Tahanan Pentanahan ( $\Omega$ )					
	Kedalaman Batang Pentanahan (m)			Panjang Pita Pentanahan (m)		
	3	6	10	5	10	20
Humus lembab	10	5	3	12	6	3
Tanah pertanian, tanah liat	33	17	10	40	20	10
Tanah liat berpasir	50	25	15	60	30	15
Pasir lembab	66	33	20	80	40	20
Pasir kering	330	165	100	400	200	100
Beton 1:5	-	-	-	160	80	40
Kerikil lembab	160	80	48	200	100	50
Kerikil kering	330	165	100	400	200	100
Tanah berbatu	1.000	500	300	1.200	600	300
Batu karang	-	-	-	-	-	-

## 2.6. Sistem-Sistem Yang Diketanahkan

Sistem – sistem yang diketanahkan adalah pentanahan dari titik yang merupakan bagian dari jaringan listrik, misalnya titik netral generator atau transformator atau titik hantar tegangan atau hantaran netral. Jenis - jenis sistem yang diketanahkan antara lain<sup>[2]</sup> :

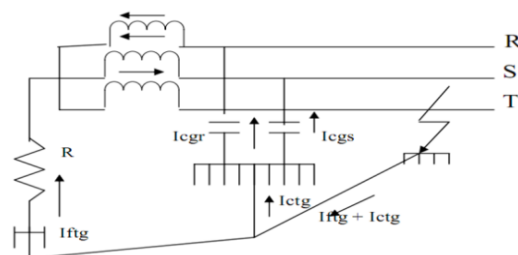
### 2.6.1 Titik Netral Ditanahkan Dengan Tahanan

Untuk membatasi arus gangguan tanah. alat pembatas arus dipasang antara titik netral dengan tanah. Salah satu alat pembatas arus ini adalah tahanan dan tahanan ada dua yaitu metalik dan cair (liquid). Besar dan hubungan fasa arus gangguan  $I_{ftg}$  tergantung pada harga reaktansi urutan nol) dan sumber daya dan harga tahanan dan pentanahan.

Arus gangguan dapat dipecah menjadi dua komponen yaitu yang sefasa dengan tegangan ke netral dan fasa terganggu yang lain ke tinggalan  $90^\circ$ .

Komponen yang ketinggalan dan arus gangguan  $I_{ftg}$  dalam, fasanya akan berlawanan arah dengan arus kapasitif  $I_{ctg}$  pada lokasi gangguan.

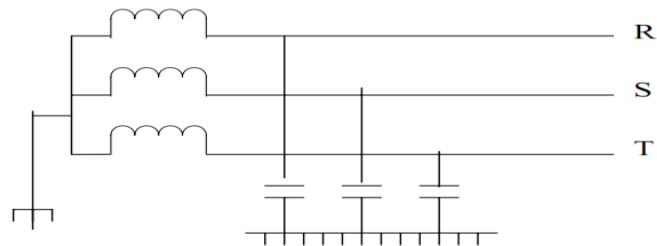
Dengan pemilihan harga tahanan pentanahan yang sesuai. komponen yang logging dan arus gangguan dapat dibuat sama atau lebih besar dan arus kapasitif sehingga tidak ada osilasi transien karena dapat terjadi busur api.



Gambar 2.9 Fasa Tegangan Tanah pada Pentanahan Netral dengan Tahanan

Jika harga tahanan pentanahan tinggi sehingga komponen logging dan arus gangguan kurang dan arus kasitif, maka kondisi sistem akan mendekati sistem netral yang tidak ditanahkan dengan resiko terjadinya tegangan lebih.

### 2.6.2 Titik Netral Ditanahkan Langsung (Solid Grounding)



Gambar 2.10 Pentanahan Netral Langsung (Solid)

Jika tegangan seimbang, juga kapasitas fasa ke tanah sama, maka arus-arus kapasitansi fasa tanah akan menjadi sama dan saling berbeda fasa 120° sama lainnya. Titik netral dan impedansi adalah pada potensial tanah dan tidak ada arus yang mengalir antara netral impedansi terhadap netral trafo tenaga.

### 2.6.3 Titik Netral Ditanahkan Melalui Reaktansi

Suatu sistem dapat dikatakan ditanahkan reaktansi bila suatu impedansi yang lebih induktif, disisipkan dalam titik netral trafo (generator) dengan tanah. Metode ini mempunyai keuntungan dan pentanahan tahanan:

1. Untuk arus gangguan tanah maksimum peralatan reaktor lebih kecil dan resistor.
2. Energi yang disisipkan dalam reaktor lebih kecil.

Dengan ketiga tegangan fasa yang dipasang seimbang arus dan masing-masing impedansi akan menjadi sama dan saling berbeda fasa 120° satu sama lainnya. Secara konsekuensi tidak ada perbedaan potensial antara titik netral dan suplai trafo tenaga.

### 2.6.4 Sistem Pentanahan Peralatan:

1. Sistem Pentanahan Rod
2. Sistem Pentanahan Grid





### 3. Sistem Pentanahan Arrester

#### **2.7 Faktor-faktor yang mempengaruhi besar tahanan pentanahan**

Faktor-faktor yang mempengaruhi besar tahanan pentanahan adalah luas<sup>[12]</sup>:

##### **2.7.1 Bentuk elektroda**

Ada bermacam-macam bentuk elektroda yang banyak digunakan, seperti jenis batang, pita dan pelat.

##### **A. 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.

##### **B. 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.

##### **C. 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.

##### **D. Faktor - faktor alam**

Jenis tanah : tanah gembur, berpasir, berbatu, dan lain-lain; moisture 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; dan 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 Jenis Tanah

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<sup>[4]</sup>:

- 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.

Untuk melihat gambaran mengenai besarnya tahanan jenis tanah untuk bermacam - macam jenis tanah dapat dilihat pada Tabel 2.3 dibawah ini :

Tabel 2.3 Resistansi Jenis Tanah<sup>[12]</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

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

Karena tahanan tanah berkaitan langsung dengan kandungan air dan suhu, maka dapat saja diasumsikan bahwa tahanan pentanahan suatu sistem akan berubah sesuai perubahan iklim setiap tahunnya. Karena kandungan air dan suhu lebih stabil pada kedalaman yang lebih besar maka agar dapat bekerja efektif sepanjang waktu, sistem pentanahan dapat dikonstruksi dengan pasak tanah yang ditancapkan cukup dalam di bawah permukaan tanah. Hasil terbaik akan diperoleh apabila kedalaman pasak mencapai tingkat kandungan air yang tetap [8].

## **2.10 Pengukuran Tahanan Pentanahan**

Pengukuran tahanan pentanahan memiliki 2 cara yaitu :

### **2.10.1 Pengukuran Secara Langsung**

Pengukuran secara langsung dibagi menjadi 2 metode yaitu :

#### **A. Metode Uji Drop Tegangan**

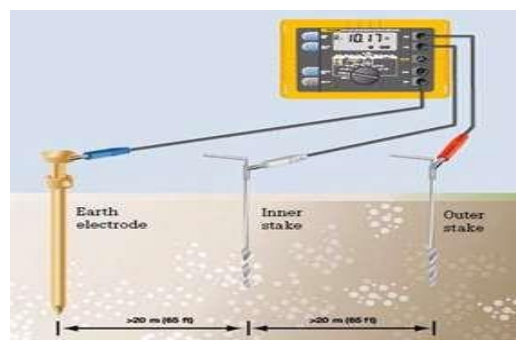
Cara kerja metode uji drop tegangan dapat dijelaskan dengan langkah-langkah sebagai berikut :

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. 11 Earth Tester

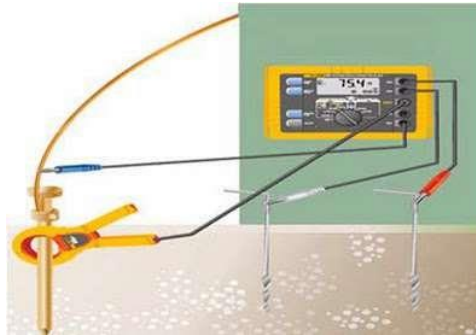
Earth tester akan mengukur tegangan antara batang elektroda bantu yang ada ditengah dan elektroda utama. Selanjutnya Earth Tester akan menghitung tahanan pentanahan menurut hukum ohm  $R = \frac{V}{I}$ . Dimana V adalah besarnya tegangan yang diukur dan I adalah besarnya arus yang kembali melalui elektroda utama. Cara pengukuran tahanan pentanahan dengan metode uji drop tegangan ditunjukkan oleh Gambar 2.7.



Gambar 2. 12 Skema Uji Drop Tegangan

## B. Metode Selektif

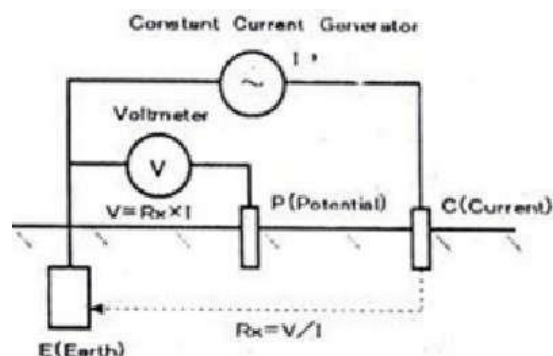
Pengukuran tahanan pentanahan dengan metode selektif sangat mirip dengan pengukuran tahanan pentanahan dengan metode uji drop tegangan, kedua metode menghasilkan ukuran yang sama, tapi metode selektif dapat dilakukan dengan cara yang jauh lebih aman dan lebih mudah. Hal ini dikarenakan dengan pengujian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



Gambar 2.13 Skema Pengetesan Tahanan Pentanahan Dengan Metode Selektif

### 2.10.2 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 potential, 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 2.9.



Gambar 2. 14 Pengukuran Secara Tak Langsung Tahanan Pentanahan Dengan Voltmeter dan Amperemeter

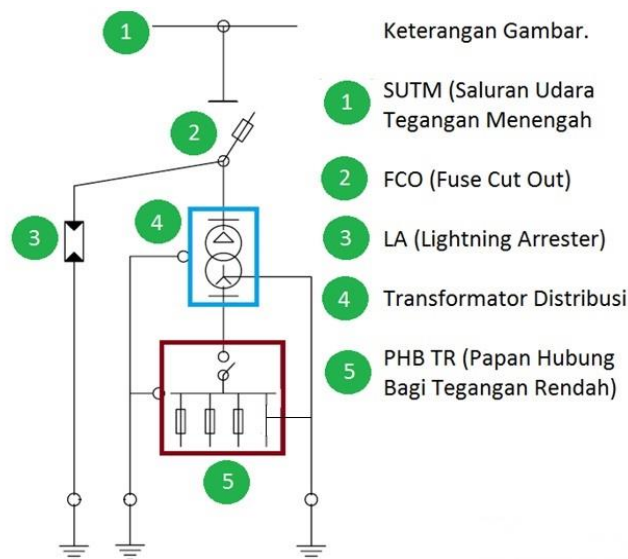
Cara pengukuran tahanan pentanahan seperti Gambar 2.9 dapat dilakukan dengan cara menancapkan elektroda bantu P sejauh 20 meter atau lebih dari

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  $R = \frac{V}{I}$ .

### 2.11 Sistem Pentanahan Gardu Portal

Bagian – bagian yang dipentanahkan pada gardu portal adalah:

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

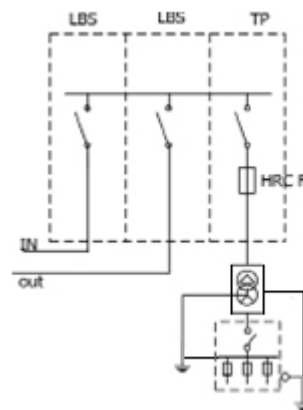


Gambar 2.15 Konstruksi Pembumian Pada gardu Distribusi

Seluruh terminal pembumian tersebut disambung pada ikatan penyama potensial pembumian dan selanjutnya dihubungkan ke elektroda pembumian nilai tahanan pembumian tidak melebihi 1 ohm. Titik netral transformator

dibumikan sendiri. Pentahan 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 pipagalvanis dengan diameter 5/8 inci sekurang-kurangnya setinggi 3 meter diatas tanah<sup>[9]</sup>.

## 2.12 Sistem Pentanahan pada Gardu Beton



Gambar 2.16 Konstruksi Pembumian Pada Gardu Beton

Bagian – bagian yang dipentanahkan pada gardu Beton adalah:

1. Terminal netral sisi sekunder transformator.
2. Bagian konduktif ekstra (BKE)
3. Bagian konduktif terbuka (BKT)

Elektroda pembumian pada Gardu Beton memakai sistem mesh, dengan penghantar Cu (tembaga) berpenampang 50 mm<sup>2</sup> yang digelar di bawah pondasi bangunan gardu. Pada titik tertentu elektroda pembumian ini dikeluarkan dan dihubungkan pada instalasi ikatan ekui potensial (equipotential coupling) yang dipasang setinggi 20 cm di atas lantai, mengelilingi bagian dalam dinding gardu. Material ikatan ekui potensial memakai pelat tembaga sekurang-kurangnya dengan penampang berukuran 20x4 mm. Seluruh bagian konduktif terbuka (BKT) dan bagian konduktif ekstra (BKE) gardu dihubungkan ke ikatan ekui potensial



tersebut.

Nilai tahanan pembumian tidak melebihi 1 ohm. Apabila konstruksi pembumian tersebut tidak mencapai 1 ohm, harus ditambahkan sistem elektroda pembumian lainnya, antara lain dengan elektroda batang, sehingga tercapai nilai tahanan pembumiaaan sebesar 1 ohm.

Khusus titik netral transformator distribusi dibumikan terpisah(tersendiri) dengan pembumian BKT dan BKE. Penghantar pembumian menggunakan BC 50 mm<sup>2</sup> , elektroda bumi memakai elektroda jenis batang <sup>[9]</sup>