

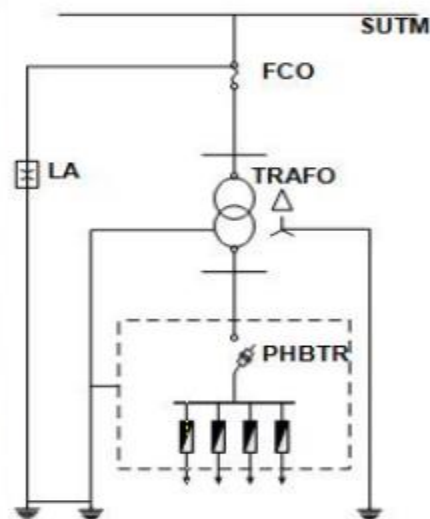
BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Gardu Distribusi

Pengertian umum Gardu Distribusi tenaga listrik yang paling dikenal adalah suatu bangunan gardu listrik berisi atau terdiri dari instalasi Perlengkapan Hubung Bagi Tegangan Menengah (PHB-TM), Transformator Distribusi (TD) dan Perlengkapan Hubung Bagi Tegangan Rendah (PHB-TR) untuk memasok kebutuhan tenaga listrik bagi para pelanggan baik dengan Tegangan Menengah (TM 20 kV) maupun Tegangan Rendah (TR 220/380V).

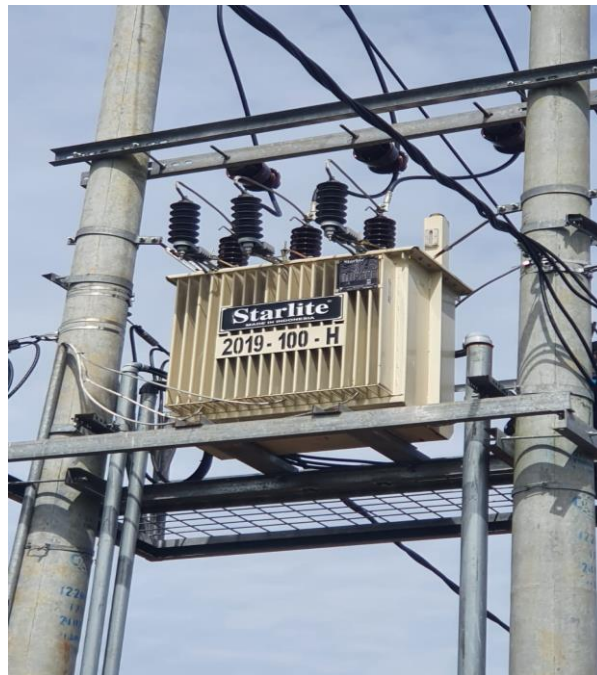
Konstruksi Gardu distribusi dirancang berdasarkan optimalisasi biaya terhadap maksud dan tujuan penggunaannya yang kadang kala harus disesuaikan dengan peraturan Pemda setempat.^[7]



Gambar 2. 1 Gardu distribusi dan Single Line Diagram

⁷ Buku 4 PT. PLN (Persero). 2010. *Standar Kontruksi Gardu Distribusi dan Gardu Hubung Tenaga Listrik*. Jakarta : PT PLN (Persero). Hlmn 1

Dalam Gardu Distribusi ini Biasanya digunakan Transformator distribusi yang berfungsi untuk menurunkan tegangan listrik dari jaringan distribusi tegangan tinggi menjadi tegangan terpakai pada jaringan distribusi tegangan rendah (step down transformator) misalkan tegangan 20 KV menjadi tegangan 380 volt atau 220 volt. Sedang transformator yang digunakan untuk menaikkan tegangan listrik (step up transformator), hanya digunakan pada pusat pembangkit tenaga listrik agar tegangan yang didistribusikan pada suatu jaringan panjang (long line) tidak mengalami penurunan tegangan (voltage drop) yang berarti yaitu tidak melebihi ketentuan voltage drop yang diperkenankan 5% dari tegangan semula.



Gambar 2. 2 Transformator Distribusi

2.2 Jenis – Jenis Gardu Distribusi

2.2.1 Gardu Tiang

2.2.1.1 Gardu Portal

Umumnya konfigurasi Gardu Tiang yang dicatu dari SUTM adalah T section dengan peralatan pengaman Pengaman Lebur Cut-Out (FCO) sebagai pengaman hubung singkat transformator dengan elemen pelebur (pengaman lebur

link type expulsion) dan Lightning Arrester (LA) sebagai sarana pencegah naiknya tegangan pada transformator akibat surja petir.^[7]



Gambar 2. 3 Gardu Portal

2.2.1.2 Gardu Cantol

Pada Gardu Distribusi tipe cantol, transformator yang terpasang adalah transformator dengan daya ≤ 100 kVA Fase 3 atau Fase 1. Transformator terpasang adalah jenis CSP (Completely Self Protected Transformer) yaitu peralatan switching dan proteksinya sudah terpasang lengkap dalam tangki transformator.^[7]



⁷ Buku 4 PT. PLN (Persero). 2010. *Standar Kontruksi Gardu Distribusi dan Gardu Hubung Tenaga Listrik*. Jakarta : PT PLN (Persero). Hlmm 1-2

Gambar 2. 4 Gardu Cantol 1 Fasa (kiri) dan Gardu Cantol 3 Fasa

2.2.2 Gardu Beton

Seluruh komponen utama instalasi yaitu transformator dan peralatan switching/proteksi, terangkai didalam bangunan sipil yang dirancang, dibangun dan difungsikan dengan konstruksi pasangan batu dan beton (masonrywall building).^[7]



Gambar 2. 5 Gardu Beton

2.2.3 Gardu Kios

Gardu tipe ini 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.^[7]

⁷ Buku 4 PT. PLN (Persero). 2010. *Standar Kontruksi Gardu Distribusi dan Gardu Hubung Tenaga Listrik*. Jakarta : PT PLN (Persero). Hlmn 3



Gambar 2. 6 Gardu Kios



Gambar 2. 7 Gardu Kios Bertingkat

- 2.3 Komponen Gardu Distribusi
- 2.3.1 Komponen Utama Bagian Atas Gardu
 - 1) Lightning Arrester (LA)
 - 2) Fused Cut Out (FCO atau CO)
 - 3) Wiring Gardu atau Pengawatan Gardu
 - 4) Tiang
 - 5) Trafo Distribusi
 - 6) Rangka Gardu
 - 7) Pipa Jurusan



Gambar 2. 8 Komponen Utama Bagian Atas Gardu

2.3.2 Komponen Utama Bagian Bawah Gardu

- 1) Saklar Utama
- 2) Rel Tembaga atau Rel Jurusan
- 3) NH-Fuse jurusan
- 4) Kabel Naik atau Kabel Jurusan (bisa berupa NYY atau NYFGBY) dengan ukuran sesuai dengan kebutuhan
- 5) Kabel Turun (Kabel penghubung dari Trafo ke PHB-TR) dengan ukuran disesuaikan dengan kebutuhan dan Trafo Distribusi yang terpasang



Gambar 2. 9 Komponen Utama Bagian Bawah Gardu

2.4 Transformator Distribusi 3 Fase

Untuk transformator fase tiga, merujuk pada SPLN, ada tiga tipe vektor grup yang digunakan oleh PLN, yaitu Yzn5, Dyn5 dan Yyn0. Titik netral langsung dihubungkan dengan tanah. Untuk konstruksi, peralatan transformator distribusi sepenuhnya harus merujuk pada SPLN D3.002-1: 2007.

Transformator gardu pasangan luar dilengkapi bushing Tegangan Menengah isolator keramik. Sedangkan Transformator gardu pasangan dalam dilengkapi bushing Tegangan Menengah isolator keramik atau menggunakan isolator plug-in premoulded.^[7]



⁷ Buku 4 PT. PLN (Persero). 2010. *Standar Kontruksi Gardu Distribusi dan Gardu Hubung Tenaga Listrik*. Jakarta : PT PLN (Persero). Hlmn 7

Gambar 2. 10 Transformator Distribusi 3 Fase

2.5 Sistem Pentanahan

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

Sistem pentanahan adalah sistem hubungan penghantar yang menghubungkan sistem, badan peralatan dan instalasi dengan bumi atau tanah sehingga dapat mengamankan manusia dari sengetan listrik, dan mengamankan komponen – komponen instalasi dari bahaya tegangan atau arus abnormal. Oleh karena itu, sistem pentanahan menjadi bagian esensial dari sistem tenaga listrik.^[5]

Agar sistem pentanahan dapat bekerja secara efektif, sistem pentanahan harus memenuhi persyaratan-persyaratan sebagai berikut :^[4]

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

⁵ Sumardjati, Prih dkk. 2008. *Teknik Pemanfaatan Tenaga Listrik Jilid 1*. Jakarta : Direktorat Pembinaan Sekolah Menengah Kejuruan. Hlmn 159

⁴ Pabla, As dan Abdul Hadi. 1991. *Sistem Distribusi Daya Listrik*. Jakarta : Erlangga. Hlmn 154

2.6 Tujuan Pentanahan

Adapun tujuan sistem pentanahan secara umum adalah :^[5]

- 2.6.1 Menjamin keselamatan orang dari sengatan listrik baik dalam keadaan normal atau tidak dari tegangan sentuh dan tegangan langkah.
- 2.6.2 Menjamin kerja peralatan listrik/elektronik.
- 2.6.3 Mencegah kerusakan peralatan listrik/elektronik.
- 2.6.4 Menyalurkan energi serangan petir ke tanah.
- 2.6.5 Menstabilkan tegangan dan memperkecil kemungkinan terjadinya flashover.
- 2.6.6 Mengalihkan energi RF liar dari peralatan-peralatan seperti: audio, video, kontrol, dan computer.

Pengetanahan peralatan berlainan dengan pengetanahan sistem, yaitu pengetanahan bagian dari peralatan yang pada kerja normal tidak dilalui arus.

Tujuan dari pengetanahan peralatan tersebut adalah :^[2]

- 2.6.1 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.
- 2.6.2 Untuk memperoleh impedansi yang kecil atau rendah dari jalan balik arus hubung singkat ke tanah.

Secara singkat tujuan pengetanahan itu dapat diformulasikan sebagai berikut :^[2]

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

⁵ Sumardjati, Prih dkk. 2008. *Teknik Pemanfaatan Tenaga Listrik Jilid 1*. Jakarta : Direktorat Pembinaan Sekolah Menengah Kejuruan. Hlmn 159

² Hutaaruk, T.S. 1991. *Pengetanahan Netral Sistem Tenaga & Pengetanahan Peralatan*. Jakarta : Erlangga. Hlmn 125-126

2.7 Komponen Sistem Pentanahan

Komponen sistem pentanahan secara garis besar terdiri dari dua bagian, yaitu:

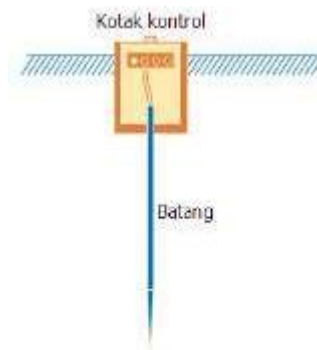
2.7.1 Hantaran Penghubung

Hantaran penghubung adalah suatu saluran penghantar (conductor) yang menghubungkan titik kontak pada badan atau kerangka peralatan listrik dengan elektroda bumi.

2.7.2 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. Ada beberapa macam elektroda pentanahan yang biasa dipakai seperti elektroda batang, elektroda pita, dan elektroda plat.

2.7.2.1 Elektroda Batang^[5]



Gambar 2. 11 Elektroda Batang

Contoh rumus tahanan pentanahan untuk elektroda batang tunggal:

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

⁵ Sumardjati, Prih dkk. 2008. *Teknik Pemanfaatan Tenaga Listrik Jilid 1*. Jakarta : Direktorat Pembinaan Sekolah Menengah Kejuruan. Hlmn 168

Dimana :

RG = Tahanan pentanahan (Ohm)

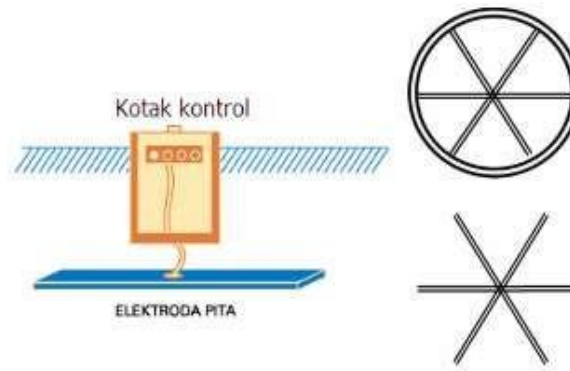
RR = Tahanan pentanahan untuk batang tunggal (Ohm)

ρ = Tahanan jenis tanah (Ohm-meter)

LR = Panjang elektroda (meter)

AR = Diameter elektroda (meter)

2.7.2.2 Elektroda Pita^[5]



Gambar 2. 12 Elektroda Pita

Contoh rumus perhitungan tahanan pentanahan :

$$RG = R_w = \frac{\rho}{2\pi L_w} \left[\ln \left(\frac{2L_w}{\sqrt{d_w Z_w}} \right) + \frac{1,4L_w}{\sqrt{A_w}} - 5,6 \right] \dots \dots \dots (2.2)$$

Dimana :

R_w = Tahanan dengan kisi-kisi (grid) kawat (Ohm)

ρ = Tahanan jenis tanah (Ohm-meter)

d_w = Diameter kawat (meter)

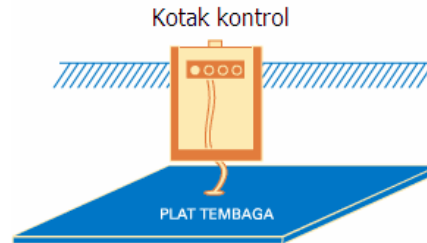
L_w = Panjang total grid kawat (meter)

Z_w = Kedalaman penanaman (meter)

A_w = Luasan yang dicakup oleh grid (meter²)

⁵ Sumardjati, Prih dkk. 2008. *Teknik Pemanfaatan Tenaga Listrik Jilid 1*. Jakarta : Direktorat Pembinaan Sekolah Menengah Kejuruan. Hlmn 169

2.7.2.3 Elektroda Plat^[5]



Gambar 2. 13 Elektroda Plat

Contoh rumus perhitungan tahanan pentanahan elektroda pelat tunggal :

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

Dimana :

R_p = Tahanan pentanahan pelat (Ohm)

ρ = Tahanan jenis tanah (Ohm-meter) W_p = Lebar pelat (meter)

L_p = Panjang pelat (meter) T_p = Tebal pelat (meter)

2.7.2.4 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 pentanahan pada peralatan listrik seperti jaringan pipa airminum dan selubung logam kabel.

2.7.2.4.1 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. Resistansi pembumian yang terlalu besar harus diturunkan dengan menghubungkan jaringan tersebut dengan elektrode tambahan (misalnya selubung logam kabel). Jika pipa

⁵ Sumardjati, Prih dkk. 2008. *Teknik Pemanfaatan Tenaga Listrik Jilid 1*. Jakarta : Direktorat Pembinaan Sekolah Menengah Kejuruan. Hlmn 169

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 mm^2 , atau dengan pita baja digalvanisasi dengan ukuran minimum 25 mm^2 (tebal pita minimum 3 mm).^[8]

2.7.2.4.2 Selubung Logam Kabel

Selubung logam kabel yang tidak dibungkus dengan bahan isolasi yang langsung ditanam dalam tanah boleh dipakai sebagai elektroda bumi. Jika selubung logam tersebut kedua sisi sambungan yang dihubungkan dengan selubung logam tersebut dan luas penampang penghantar itu minimal sebagai berikut.^[1]

- 4 mm^2 tembaga untuk kabel dengan penampang inti sampai 6 mm^2 .
- 10 mm^2 tembaga untuk kabel dengan penampang inti 10 mm^2 atau lebih.

Tabel 2. 1 Ukuran Minimum Elektroda Pentanahan^[8]

No	Bahan Jenis Elektroda	Baja Digalvanisasi dengan Proses Pemanasan	Baja Berlapis Tembaga	Tembaga
1	Elektroda Pita	Pita baja 100 mm^2 setebal minimum 3 mm	50 mm^2	Pita tembaga 50 mm^2 tebal minimum 2 mm
		Penghantar pilin 95 mm^2 (bukan kawat halus)		Penghantar pilin 35 mm^2 (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 $250 \mu\text{m}$	

⁸ Persyaratan Umum Instalasi Listrik (PUIL) 2000. Hlmn 82

¹ Harten, P. Van dan Ir.E.Setiawan. 1992. *Instalasi Listrik Arus Kuat 3*. Bandung : Binacipta. Hlmn 241

3	Elektroda Pelat	Pelat besi tebal 3mm luas 0,5 m ² sampai 1m ²	Pelat tembaga tebal 2 mm luas 0,5 m ² sampai 1 m ²
---	-----------------	---	--

2.8 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 .[3]

2.8.1 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.

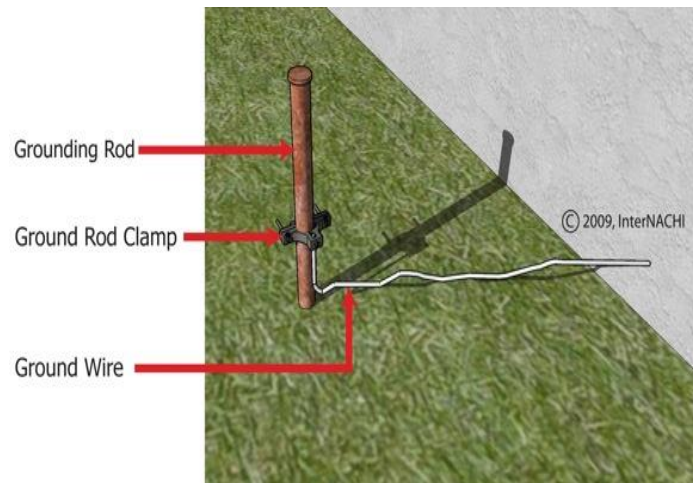
2.8.2 Bagian pembuangan muatan listrik (bagian bawah) dari lightning arrester. Hal ini diperlukan agar lightning arrester dapat berfungsi dengan baik, yaitu membuang muatan listrik yang diterimanya dari petir ke tanah (bumi) dengan lancar.

2.8.3 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.

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

Gambar dibawah ini menggambarkan batang pentanahan beserta aksesoris yang digunakan.

³ Marsudi, Djiteng. 2011. *Pembangkitan Energi Listrik Edisi Kedua*. Jakarta : Erlangga. Hlmn 76



Gambar 2. 14 Batang Pentanahan Beserta Aksesorisnya

Tabel 2. 2 Tahanan Jenis Berbagai Macam Tanah dan Tahanan Pentanahannya^[3]

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

2.9 Sistem-Sistem Yang Diketanahkan

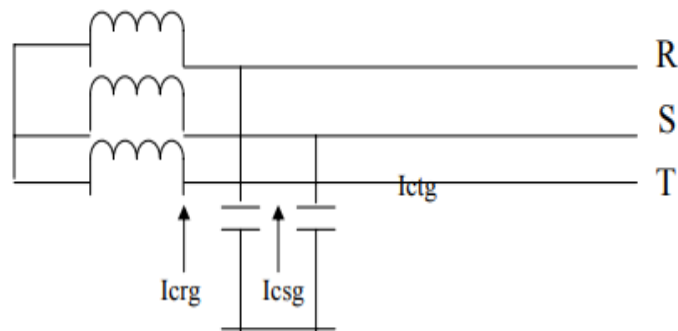
Sistem – sistem yang diketanahkan adalah pentanahan dari titik yang merupakan bagian dari jaringan listrik, misalnya titik netral generator atau

³ Marsudi, Djiteng. 2011. *Pembangkitan Energi Listrik Edisi Kedua*. Jakarta : Erlangga. Hlmn 78

transformator atau titik hantar tegangan atau hantaran netral. Jenis - jenis sistem yang diketanahkan antara lain:

2.9.1 Sistem Netral Tidak Diketanahkan^[6]

Arus I_{ctg} yang mengalir dari fasa yang terganggu ketanah, yang mana mendahului tegangan fasa aslinya ke netral dengan sudut 90^0 . Akan terjadi busur api (arcing) pada titik gangguan karena induktansi dan kapasitansi dari system. Tegangan fasa yang sehat akan naik menjadi tegangan line (fasa-fasa) atau 3 kali tegangan fasa, bahkan sampai 3 kali tegangan fasa.

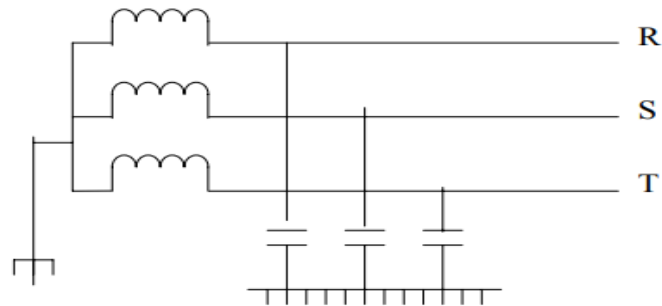


Gambar 2. 15 Sistem Netral Tidak Diketanahkan

2.9.2 Pentanahan Netral Langsung^[6]

Pentanahan netral yang sederhana dimana hubungan langsung dibuat antara netral dengan tanah. Jika tegangan seimbang, juga kapasitansi fasa ke tanah sama, maka arus-arus kapasitansi fasa tanah akan menjadi sama dan saling berbeda fasa 120^0 satu sama lainnya. Titik netral dari impedansi adalah pada potensial tanah dan tidak ada arus yang mengalir antara netral impedansi terhadap netral trafo tenaga.

⁶ Suwanto, Daman. 2009. Sistem Distribusi Tenaga Listrik. Padang. Hlmn 168-169



Gambar 2. 16 Pentanahan Netral Langsung

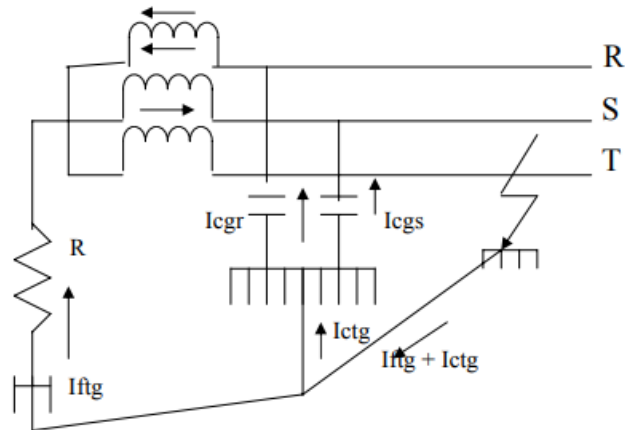
2.9.3 Pentanahan Titik Netral Dengan Tahanan^[6]

Untuk membatasi arus gangguan tanah, alat pembatas arus dipasang antara titik netral dengan tanah. Salah satu dari pembatas arus ini adalah tahanan dan tahanan ada dua yaitu metalik dan cair (liquid). Besar dan hubungan fasa arus gangguan I_{ftg} tergantung pada-pada harga reaktansi urutan nol dari sumber daya dan harga tahanan dan pentanahan. Arus gangguan dapat dipecah menjadi dua komponen yaitu yang safasa dengan tahanan ke netral dari fasa terganggu yang lain ke tinggalan 90^0 .

Komponen yang ketinggalan dari arus gangguan I_{ftg} dalam, fasanya akan berlawanan arah dengan arus kapasitif I_{ctg} pada lokasi gangguan. Dengan pemelihan harga tahanan pentanahan yang sesuai, komponen yang logging dari arua gangguan dapat dibuat sama atau lebih besar dari arus kapasitif sehingga tidak ada oscilasi transien karena dapat terjadi busur api.

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

⁶ Suwanto, Daman. 2009. Sistem Distribusi Tenaga Listrik. Padang. Hlmn 169-170



Gambar 2. 17 Pentanahan Titik Netral Dengan Tahanan

2.9.4 Pentanahan Netral Dengan Reaktansi^[6]

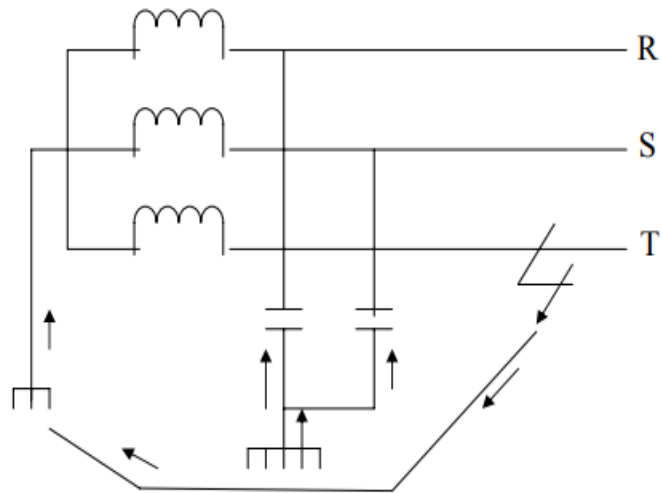
Suatu sistem dapat dikatakan ditanahkan reaktansi bila suatu impedansi yang lebih induktif, disisipkan dalam titik netral trafo (generator) dengan tanah. Metode ini mempunyai keuntungan dari pentanahan tahanan :

2.9.4.1 Untuk arus gangguan tanah maksimum peralatan reaktor lebih kecil dari resistor.

2.9.4.2 Energi yang disisipkan dalam reaktor lebih kecil.

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

⁶ Suwanto, Daman. 2009. Sistem Distribusi Tenaga Listrik. Padang. Hlmn 170-171



Gambar 2. 18 Pentanahan Netral Dengan Reaktansi

2.10 Tahanan Pentanahan

Tahanan 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. Tahanan pentanahan satu elektroda di dekat sumber listrik, transformator atau jaringan saluran udara dengan jarak 200 m maksimum adalah 10 Ohm dan tahanan pentanahan dalam suatu sistem tidak boleh lebih dari 5 Ohm.^[5]

Faktor-faktor yang mempengaruhi besar tahanan pentanahan adalah luas .^[5]

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

2.10.4.2 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

⁵ Sumardjati, Prih dkk. 2008. *Teknik Pemanfaatan Tenaga Listrik Jilid 1*. Jakarta : Direktorat Pembinaan Sekolah Menengah Kejuruan. Hlmn 167

mempunyai kontak paling efektif dengan tanah.

- 2.10.4.3 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.
- 2.10.4.4 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.
- 2.10.4.5 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.

2.11 Tahanan Jenis Tanah

Faktor keseimbangan antara tahanan pentanahan dan kapasitansi disekelilingnya adalah tahanan jenis tanah yang direpresentasikan dengan ρ (rho).

Harga tahanan jenis tanah pada daerah kedalaman yang terbatas tergantung dari beberapa faktor yaitu :^[2]

2.11.1 Jenis tanah : tanah liat, berbatu, dan lain-lain.

2.11.2 Lapisan tanah : berlapis-lapis dengan tahanan jenis berlainan atau uniform.

2.11.3 Kelembaban tanah.

2.11.4 Temperatur.

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^[8]

No	Jenis Tanah	Resistansi Jenis (Ω -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

2.12 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 pasak harus ditanam agar diperoleh tahanan yang rendah. Tahanan tanah sangat bervariasi di berbagai tempat, dan berubah menurut iklim.

² Hutaaruk, T.S. 1991. *Pengetanahan Netral Sistem Tenaga & Pengetanahan Peralatan*. Jakarta : Erlangga. Hlmm 141

⁸ Persyaratan Umum Instalasi Listrik (PUIL) 2000. Hlmm 80

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.^[4]

2.13 Sistem Pentanahan pada Gardu Cantol

Gardu Cantol adalah tipe gardu listrik dengan transformator yang dicantolkan pada tiang listrik besarnya kekuatan tiang minimal 500 daN. Terdapat 2 macam gardu cantol, yaitu:

2.13.1 Gardu Cantol Sistem 3 Kawat

Lazimnya untuk transformator fase ganda atau fase tiga sistem 3 kawat, tabung transformator berbentuk kotak dan dilengkapi dengan sirip radiator. Seluruh peralatan Lightning Arester (LA) dan rak TR harus ditambahkan dan dipasang pada tiang.^[7]

2.13.2 Gardu Cantol Sistem 4 Kawat

Perbedaan konstruksi Gardu Cantol sistem 4 kawat dengan sistem 3 kawat adalah pada konstruksi transformatornya dimana peralatan proteksi TM dan TR sudah dalam transformator, sehingga konstruksi keseluruhan dapat disederhanakan.^[7]

⁴ Pabla, As dan Abdul Hadi. 1991. *Sistem Distribusi Daya Listrik*. Jakarta : Erlangga. Hlmn 159

⁷ Buku 4 PT. PLN (Persero). 2010. *Standar Kontruksi Gardu Distribusi dan Gardu Hubung Tenaga Listrik*. Jakarta : PT PLN (Persero). Hlmn 22-23

2.14 Sistem Pentanahan Pada Gardu Portal

Bagian – bagian yang dipentanahkan pada gardu portal adalah:

2.14.1 Terminal netral sisi sekunder transformator.

2.14.2 Lightning Arrester (LA).

2.14.3 Bagian konduktif ekstra (BKE)

2.14.4 Bagian konduktif terbuka (BKT), seperti PHB-TR dan body transformator

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 mm². Penghantar - penghantar pentanahan dilindungi dengan pipa galvanis dengan diameter 5/8 inci sekurang-kurangnya setinggi 3 meter diatas tanah.^[7]

2.15 Pengukuran Tahanan Pentanahan

Pengukuran tahanan pentanahan memiliki 2 cara yaitu :

2.15.1 Pengukuran Secara Langsung

Pengukuran secara langsung dibagi menjadi 2 metode yaitu :

2.15.1.1 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.

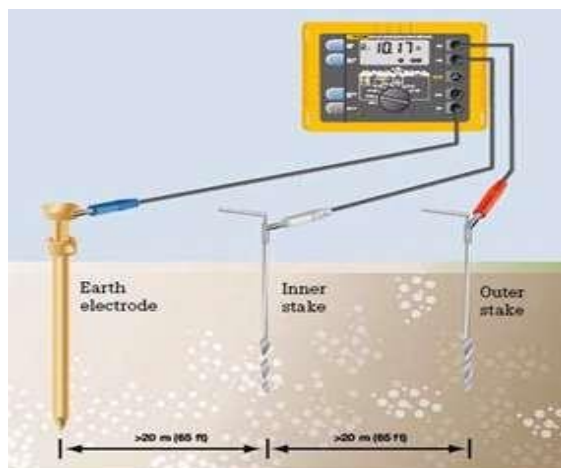
⁷ Buku 4 PT. PLN (Persero). 2010. *Standar Kontruksi Gardu Distribusi dan Gardu Hubung Tenaga Listrik*. Jakarta : PT PLN (Persero). Hlmn 24-25



Gambar 2. 19 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 berikut.

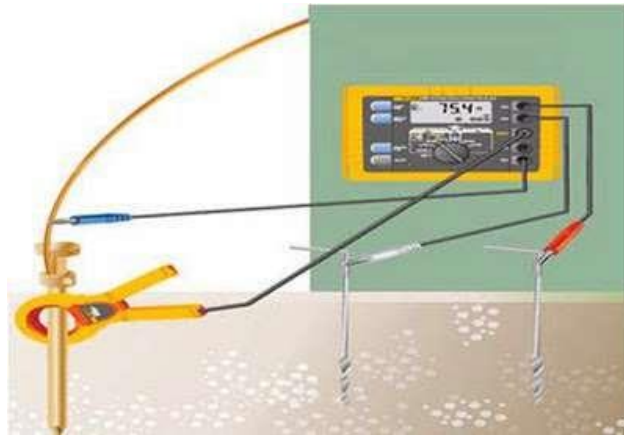


Gambar 2. 20 Skema Uji Drop Tegangan

2.15.1.2 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.

Cara pengukuran tahanan pentanahan dengan metode selektif ditunjukkan oleh Gambar dibawah ini.

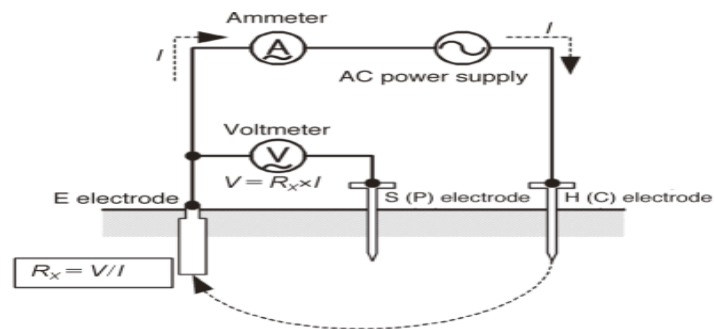


Gambar 2. 21 Skema Pengetesan Tahanan Pentanahan Dengan Metode Selektif

2.15.2 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:



Gambar 2. 22 Pengukuran Secara Tak Langsung Tahanan Pentanahan Dengan Voltmeter dan Amperemeter