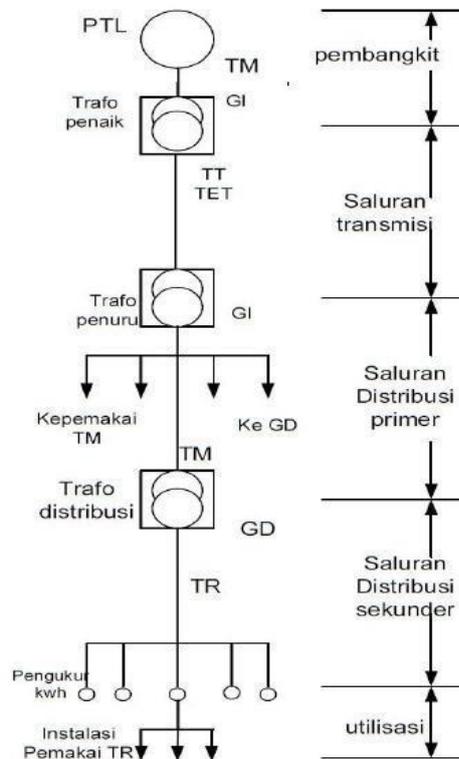


BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Sistem Distribusi Tenaga Listrik



Gambar 2. 1 Sistem Distribusi Tenaga Listrik

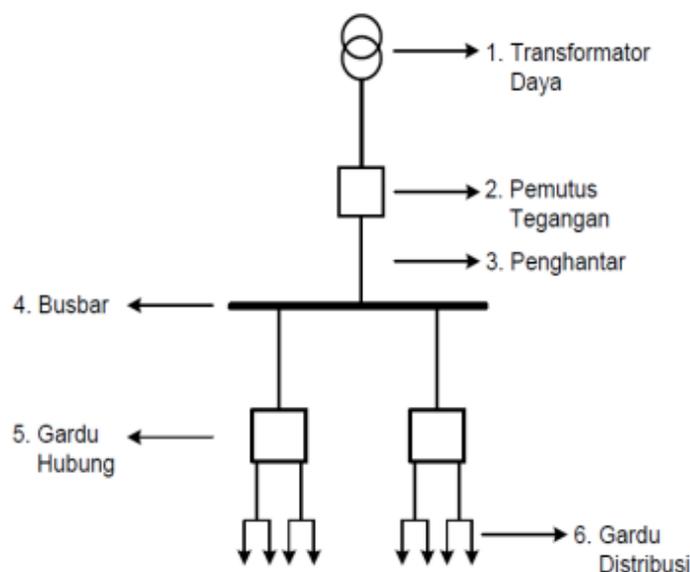
Sistem Distribusi merupakan bagian dari sistem tenaga listrik. Sistem distribusi ini berguna untuk menyalurkan tenaga listrik dari sumber daya listrik besar (*Bulk Power Source*) sampai ke konsumen. Jadi fungsi distribusi tenaga listrik adalah; 1) pembagian atau penyaluran tenaga listrik ke beberapa tempat (pelanggan), dan 2) merupakan sub sistem tenaga listrik yang langsung berhubungan dengan pelanggan, karena catu daya pada pusat-pusat beban (pelanggan) dilayani langsung melalui jaringan distribusi. Tenaga listrik yang dihasilkan oleh pembangkit tenaga listrik besar dengan tegangan dari 11 kV sampai 24 kV dinaikkan tegangannya oleh gardu induk dengan transformator penaik tegangan menjadi 70 kV, 154 kV, 220 kV atau 500 kV kemudian disalurkan melalui saluran transmisi.

Tujuan menaikkan tegangan ialah untuk memperkecil kerugian daya listrik pada saluran transmisi, dimana dalam hal ini kerugian daya adalah sebanding dengan kuadrat arus yang mengalir ($I^2.R$). Dengan daya yang sama bila nilai tegangannya diperbesar, maka arus yang mengalir semakin kecil sehingga kerugian daya juga akan kecil pula. Dari saluran transmisi, tegangan diturunkan lagi menjadi 20 kV dengan transformator penurun tegangan pada gardu induk distribusi, kemudian dengan sistem tegangan tersebut penyaluran tenaga listrik dilakukan oleh saluran distribusi primer. Dari saluran distribusi primer inilah gardu-gardu distribusi mengambil tegangan untuk diturunkan tegangannya dengan trafo distribusi menjadi sistem tegangan rendah, yaitu 220/380Volt. Selanjutnya disalurkan oleh saluran distribusi sekunder ke konsumen-konsumen.

2.2 Jaringan Distribusi

Distribusi tenaga listrik adalah tahap akhir dalam pengiriman tenaga listrik; ini merupakan proses membawa listrik dari sistem transmisi listrik menuju ke konsumen listrik. Gardu distribusi terhubung ke sistem transmisi dan menurunkan tegangan transmisinya dengan menggunakan trafo. Jaringan distribusi tenaga listrik dibagi menjadi dua bagian yaitu distribusi primer dan distribusi sekunder.

2.2.1 Jaringan Sistem Distribusi Primer



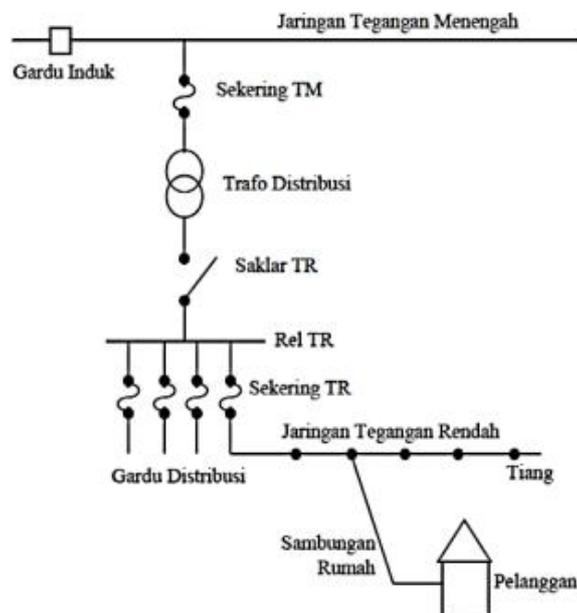
Gambar 2. 2 Diagram Sistem Distribusi Primer

Yaitu jaringan distribusi yang berasal dari jaringan transmisi yang diturunkan tegangannya di Gardu Induk (GI) menjadi Tegangan Menengah (TM) dengan nominal tegangan 20 kV yang biasa disebut JTM (Jaringan Tegangan Menengah) lalu disalurkan ke lokasi-lokasi pelanggan listrik kemudian di turunkan tegangannya di trafo pada gardu distribusi untuk disalurkan ke pelanggan.

2.2.2 Jaringan Sistem Distribusi Sekunder

Yaitu jaringan distribusi dari gardu distribusi untuk di salurkan ke pelanggan dengan klasifikasi tegangan rendah yaitu 220 V atau 380 V (antar fasa). Pelanggan yang memakai tegangan rendah ini adalah pelanggan paling banyak karena daya yang dipakai tidak terlalu banyak. Jaringan dari gardu distribusi dikenal dengan JTR (Jaringan Tegangan Rendah), lalu dari JTR dibagi-bagi untuk ke rumah pelanggan, saluran yang masuk dari JTR ke rumah pelanggan disebut Sambungan Rumah (SR). Pelanggan tegangan ini banyaknya menggunakan listrik satu fasa, walau ada beberapa memakai listrik tiga fasa.

Konsumen rumah tangga maupun komersial biasanya terhubung dengan jaringan distribusi sekunder melalui sambungan rumah listrik. Konsumen yang membutuhkan tegangan yang lebih tinggi dapat mengajukan permohonan untuk langsung terhubung dengan jaringan distribusi primer, atau ke level subtransmisi.



Gambar 2. 3 Diagram Distribusi Sekunder

Jaringan Tegangan Rendah (JTR) berfungsi untuk menyalurkan sisi tegangan rendah transformator distribusi ke konsumen menggunakan jaringan hantaran udara 3 fasa 4 kawat dengan tegangan distribusi sekunder 220 Volt (tegangan fasa-netral) atau 380 Volt tegangan fasa-fasa).

Jaringan Tegangan Rendah ialah jaringan tenaga listrik dengan tegangan rendah yang mencakup seluruh bagian jaringan tersebut beserta perlengkapannya dari sumber penyaluran tegangan rendah tidak termasuk SLTR. Sedangkan Sambungan tenaga listrik tegangan rendah (SLTR) ialah penghantar di bawah atau di atas tanah termasuk peralatannya mulai dari titik penyambungan pada JTR sampai dengan alat pembatas dan pengukur.

Sistem penyaluran daya listrik pada JTR dapat dibedakan menjadi dua yaitu sebagai berikut:

1. Saluran Udara Tegangan Rendah (SUTR)

Jenis penghantar yang dipergunakan adalah kabel pilin udara (NFA2Y) aluminium twisted cable dengan inti aluminium sebagai inti penghantar Fasa dan almelec/aluminium alloy sebagai netral. Ukuran kabelnya adalah $(3 \times 35 + N) \text{ mm}^2$, $(3 \times 50 + N) \text{ mm}^2$, dan $(3 \times 70 + N) \text{ mm}^2$.

2. Saluran Kabel Udara Tegangan Rendah (SKUTR)

Jenis penghantar yang dipakai adalah jenis kabel bawah tanah berpelindung mekanis NYFGbY, ukuran kabelnya adalah $4 \times 25\text{mm}^2$, $4 \times 50\text{mm}^2$, $4 \times 70\text{mm}^2$, dan $4 \times 95\text{mm}^2$.

Menurut SPLN No.3 Tahun 1987, jaringan tegangan rendah adalah jaringan tegangan rendah yang mencakup seluruh bagian jaringan beserta perlengkapannya, dari sumber penyaluran tegangan rendah sampai dengan alat pembatas/pengukur. Sedangkan STR (Saluran Tegangan Rendah) ialah bagian JTR tidak termasuk sambungan pelayanan (bagian yang menghubungkan STR dengan alat pembatas/pengukur).



2.3 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, 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.

Secara garis besar gardu distribusi dibedakan atas:

1. Jenis pemasangannya:
 - Gardu pemasangan luar: Gardu Portal, Gardu Cantol
 - Gardu pemasangan dalam: Gardu Beton, Gardu Kios
2. Jenis Konstruksinya:
 - Gardu Beton (bangunan sipil: batu, beton)
 - Gardu Tiang: Gardu Portal dan Gardu Cantol
 - Gardu Kios
3. Jenis Penggunaannya:
 - Gardu Pelanggan Umum
 - Gardu Pelanggan Khusus

Khusus pengertian Gardu Hubung adalah gardu yang ditujukan untuk memudahkan manuver pembebanan dari satu penyulang ke penyulang lain yang dapat dilengkapi/tidak dilengkapi RTU (*Remote Terminal Unit*). Untuk fasilitas ini lazimnya dilengkapi fasilitas DC *Supply* dari Trafo Distribusi pemakaian sendiri atau Trafo distribusi untuk umum yang diletakkan dalam satu kesatuan.

2.3.1 Gardu Portal

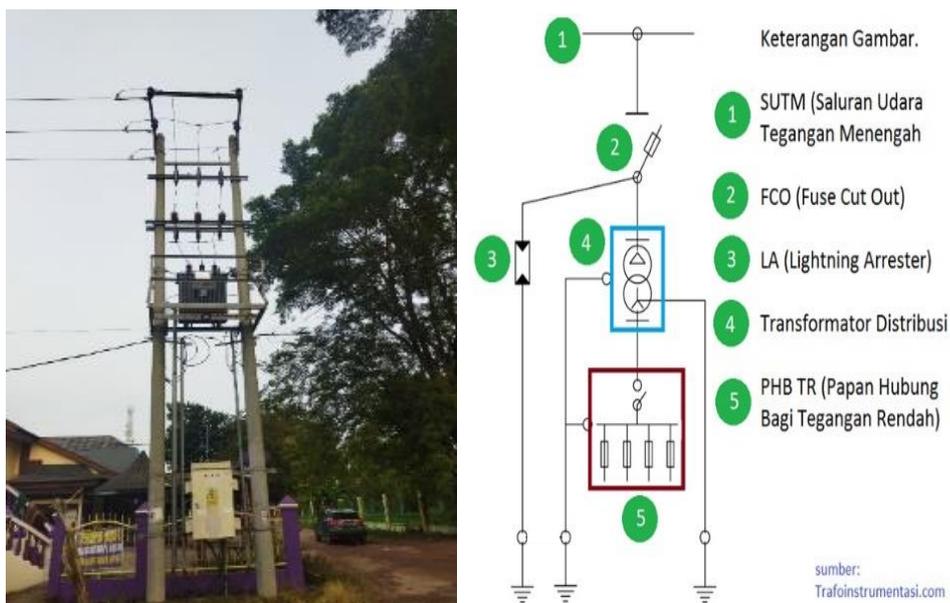
Umumnya konfigurasi Gardu Tiang yang dicatu dari SUTM adalah T section dengan peralatan pengaman Pengaman Lebur Cut-Out (FCO) sebagai pengaman hubung singkat transformator dengan elemen pelebur (*pengaman lebur link type*

expulsion) dan *Lightning Arrester (LA)* sebagai sarana pencegah naiknya tegangan pada transformator akibat surja petir.

Untuk Gardu Tiang pada sistem jaringan lingkaran terbuka (*open-loop*), seperti pada sistem distribusi dengan saluran kabel bawah tanah, konfigurasi peralatan adalah π section dimana transformator distribusi dapat di catu dari arah berbeda yaitu posisi *Incoming – Outgoing* atau dapat sebaliknya.

Guna mengatasi faktor keterbatasan ruang pada Gardu Portal, maka digunakan konfigurasi switching/proteksi yang sudah terakit ringkas sebagai RMU (*Ring Main Unit*). Peralatan switching incoming-outgoing berupa Pemutus Beban atau LBS (*Load Break Switch*) atau Pemutus Beban Otomatis (PBO) atau CB (*Circuit Breaker*) yang bekerja secara manual (atau digerakkan dengan remote control).

Fault Indicator (dalam hal ini PMFD: *Pole Mounted Fault Detector*) perlu dipasang pada section jaringan dan percabangan untuk memudahkan pencarian titik gangguan, sehingga jaringan yang tidak mengalami gangguan dapat dipulihkan lebih cepat.



Gambar 2. 4 Gardu Portal dan Diagram Satu Garis Gardu Distribusi Portal

2.3.2 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.

Perlengkapan perlindungan transformator tambahan adalah lightning arrester. Pada transformator tipe CSP fasa 1, penghantar pembumian arrester dihubungkan langsung dengan badan transformator. Konstruksi pembumian sama dengan gardu portal. Perlengkapan hubung bagi Tegangan Rendah maksimum 2 jurusan dengan saklar pemisah pada sisi masuk dan pengaman lebur (*type* NH, NT) sebagai pengaman jurusan. Semua bagian konduktif terbuka dihubungkan dengan pembumian sisi Tegangan Rendah dengan nilai tahanan pembumian tidak melebihi 1 Ohm.



Gambar 2. 5 Gardu Cantol

2.3.3 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 (*masonry wall building*). Konstruksi ini dimaksudkan untuk pemenuhan persyaratan terbaik bagi keselamatan ketenagalistrikan.



Gambar 2. 6 Gardu Beton

2.3.4 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.

Gardu ini dibangun pada tempat-tempat yang tidak diperbolehkan membangun Gardu Beton. Karena sifat mobilitasnya, maka kapasitas transformator distribusi yang terpasang terbatas. Kapasitas maksimum adalah 400 kVA, dengan 4 jurusan Tegangan Rendah. Khusus untuk Kios Kompak, seluruh instalasi komponen utama gardu sudah dirangkai selengkapnyanya di pabrik, sehingga dapat langsung di angkut kelokasi dan disambungkan pada sistem distribusi yang sudah ada untuk difungsikan sesuai tujuannya.



Gambar 2. 7 Gardu Kios

2.4 Komponen Gardu Distribusi

2.4.1 Komponen Utama Bagian Atas Gardu

1. *Lightning Arrester* (LA)
2. *Fuse Cut Out* (FCO)
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*

2.4.2 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

2.5 Transformator Distribusi Tiga Fasa

Untuk transformator tiga fasa, merujuk pada SPLN, ada tiga tipe vektor grup yang digunakan oleh PLN, yaitu Yzn5, Dyn5 dan Ynyn0. 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*.



Gambar 2. 10 Transformator Distribusi Tiga Fasa

2.6 Sistem Pentanahan

Sistem pentanahan (*grounding*) 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.

Pentanahan atau pembedahan 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.

Sistem pentanahan (*grounding*) adalah sistem hubungan penghantar yang menghubungkan sistem, badan peralatan dan instalasi dengan bumi atau tanah sehingga dapat mengamankan manusia dari sengatan listrik, dan mengamankan komponen-komponen instalasi dari bahaya tegangan atau arus abnormal. Oleh karena itu, sistem pentanahan menjadi bagian esensial dari sistem tenaga listrik.¹

Agar sistem pentanahan dapat bekerja secara efektif, sistem pentanahan harus memenuhi persyaratan-persyaratan sebagai berikut²:

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.

2.7 Tujuan Pentanahan

Adapun tujuan sistem pentanahan secara umum adalah sebagai berikut:

1. Menjamin keselamatan orang dari sengatan listrik baik dalam keadaan normal atau tidak dari tegangan sentuh dan tegangan langkah.

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

² Pabla, As dan Abdul Hadi. 1991. Sistem Distribusi Daya Listrik. Jakarta : Erlangga



2. Menjamin kerja peralatan listrik/elektronik.
3. Mencegah kerusakan peralatan listrik/elektronik.
4. Menyalurkan energi serangan petir ke tanah.
5. Menstabilkan tegangan dan memperkecil kemungkinan terjadinya flashover.
6. Pengetanahan peralatan berlainan dengan pengetanahan sistem, yaitu pengetanahan bagian dari peralatan yang pada kerja normal tidak dilalui arus.

Selain itu, pada dasarnya sistem pentanahan tiga tujuan yaitu³:

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

³ Mismail, B. (2011). Dasar Teknik Elektro Jilid 3: Sistem Tenaga dan Telekomunikasi. Malang: Universitas Brawijaya Press



singkat ke tanah dan sekring atau sistem pengaman lain akan bekerja dan memutuskan hubungan listrik itu.

Adapun pentanahan pada peralatan adalah pentanahan dari peralatan yang pada kerja normal tidak dilalui arus dan tujuan dari pentanahan pada peralatan adalah sebagai berikut:

1. Untuk membatasi tegangan antara bagian-bagian peralatan yang tidak dilalui arus dan antara bagian-bagian ini dengan tanah sampai pada suatu harga yang aman (tidak membahayakan), untuk semua kondisi operasi normal atau tidak normal. Sistem pembumian ini gunanya ialah untuk memperoleh potensial yang merata (*uniform*) dalam semua bagian struktur dan peralatan, dan juga untuk menjaga operator atau orang yang berada di daerah instalasi itu berada pada potensial yang sama dan tidak berbahaya pada setiap waktu.
2. Untuk memperoleh impedansi yang kecil/rendah dari jalan balik arus hubung singkat ke tanah. Bila arus hubung singkat ke tanah di paksakan melalui impedansi tanah yang tinggi, hal ini akan menimbulkan busur listrik dan pemanasan yang besarnya cukup untuk menyalakan material yang mudah terbakar.

Secara singkat tujuan pembumian itu dapat diformulasikan sebagai berikut:

1. Mencegah terjadinya tegangan kejut listrik yang berbahaya untuk orang dalam daerah itu.
2. Untuk memungkinkan timbulnya arus tertentu baik besarnya maupun lamanya dalam keadaan pada bangunan maupun isinya.
3. Untuk memperbaiki penampilan (*performance*) dari sistem.

2.8 Komponen Sistem Pentanahan

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

1. Hantaran Penghubung



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

Antara hantaran penghubung dan elektroda pentanahan harus dipasang 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 10 mm². Selain faktor di atas yang perlu diperhatikan juga adalah sambungan antar penghantar penghubung dan elektroda pentanahan tersebut juga harus dilindungi dari korosi sehingga daya tahan untuk sistem pentanahannya bisa lama terjamin.

2. Elektroda Pentanahan.

Yang dimaksud dengan elektroda pentanahan adalah sebuah atau sekelompok penghantar yang ditanam dalam bumi dan mempunyai kontak yang erat dengan bumi dan menyertai hubungan listrik dengan bumi. Elektroda pentanahan tertanam sedemikian rupa dalam tanah berupa elektroda pita, logam, batang konduktor, pipa air minum dari tulang besi beton pada tiang pancang. Untuk mendapatkan harga resistansi pentanahan yang serendah mungkin harus memenuhi beberapa persyaratan antara lain:

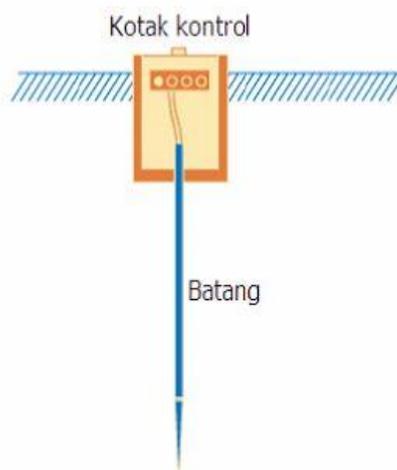
- a) Resistansi elektroda pentanahan harus lebih kecil dari pada harga yang direkomendasikan.
- b) Elektroda pentanahan harus mampu dialiri arus hubung singkat terbesar.
- c) Elektroda pentanahan harus mempunyai sifat kimia yang baik sehingga tidak mudah mengalami korosi.
- d) Elektroda pentanahan harus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

2.9 Jenis Elektroda Pentanahan

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.

1. 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. Gambar di bawah menunjukkan gambar dari elektroda batang.



Gambar 2. 11 Elektroda Batang

Rumus tahanan pentanahan untuk elektroda batang tunggal:

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

Dimana:

R = Resistansi pentanahan (Ohm)

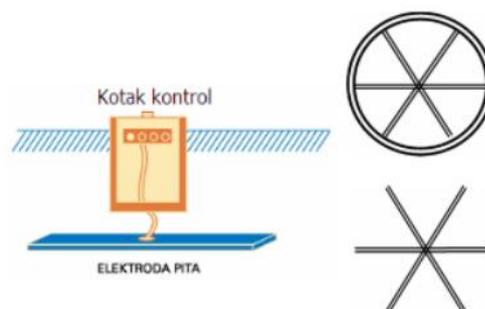
ρ = Resistansi jenis tanah (Ohm-meter)

L = Kedalaman penanaman elektroda (meter)

d = Diameter elektroda (meter)

2. Elektroda Pita

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



Gambar 2. 12 Elektroda Pita

Rumus perhitungan tahanan pentanahan elektroda pita:

$$R = \frac{\rho}{\pi L} \left(\ln \frac{2L}{\sqrt{d \cdot Z}} + \frac{14,5}{\sqrt{A}} - 5,6 \right) \dots \dots \dots (2.2)$$

⁴ Sumardjati, Prih dkk. 2008. Teknik Pemanfaatan Tenaga Listrik Jilid 1. Jakarta : Direktorat Pembinaan Sekolah Menengah Kejuruan.

Dimana:

R = Resistansi pentanahan grid kawat (Ohm)

ρ = Resistansi jenis tanah (Ohm-meter)

d = Diameter kawat (meter)

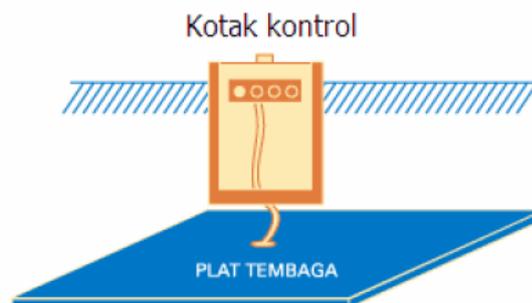
L = Panjang total grid kawat (meter)

A = Luasan yang dicakup grid (meter)

Z = Kedalaman penanaman (meter)

3. 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. 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 vertikal. Penanaman secara vertikal lebih praktis dan ekonomis.



Gambar 2. 13 Elektroda Plat

Rumus perhitungan tahanan pentanahan elektroda plat tunggal:

$$R = \frac{\rho}{2\pi L} \left(\ln \frac{8W}{\sqrt{0,5W+T}} \right) - 1 \dots \dots \dots (2.3)$$

Dimana:

R = Resistansi pentanahan plat (Ohm) L = Panjang plat (meter)

ρ = Resistansi jenis tanah (Ohm-meter) T = Tebal plat (meter)

W = Lebar plat (meter)

Tabel 2. 1 Ukuran Minimum Elektroda Pentanahan⁵

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 - Penghantar pilin 95 mm ² (bukan kawat halus)	50 mm ²	- Pita tembaga 50 mm ² tebal minimum 2 mm - Penghantar pilin 35 mm ² (bukan kawat halus)
2	Elektroda Batang	-Pipa Baja 25 mm -Baja Profil (mm) L= 65 x 65 x 7 U= 6,5 T= 6 x 50 x 3 -Batang Profil Lain yang Setaraf	Baja berdiameter 15 mm dilapisi tembaga setebal 250 μm	
3	Elektroda Plat	Plat Besi Tebal 3 mm luas 0,5 m ² sampai 1m ²		Plat Tembaga Tebal 2 mm luas 0,5 m ² sampai 1m ²

2.10 Faktor-Faktor yang Mempengaruhi Resistansi Pentanahan

Faktor-faktor yang mempengaruhi besar tahanan pentanahan adalah:

1. Bentuk elektroda

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

⁵ Persyaratan Umum Instalasi Listrik (PUIL) 2000



2. Jenis bahan dan ukuran elektroda

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

3. Jumlah/konfigurasi elektroda

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

4. Kedalaman pemancangan/penanaman di dalam tanah

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

5. Faktor-faktor alam

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

2.11 Resistansi Jenis Tanah

Resistansi tanah sangat bervariasi di berbagai tempat, dan berubah menurut iklim. Resistansi 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 resistansi tanah berkaitan langsung dengan kandungan air dan suhu, maka dapat saja diasumsikan bahwa resistansi 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.

Harga tahanan jenis tanah pada daerah kedalaman yang terbatas tergantung dari beberapa faktor yaitu:

- a) Jenis tanah: tanah liat, berbatu, dan lain-lain.
- b) Lapisan tanah: berlapis-lapis dengan tahanan jenis berlainan.
- c) Kelembaban tanah.
- d) Temperatur.

Berikut merupakan tabel gambaran mengenai besarnya resistansi jenis tanah untuk bermacam-macam jenis tanah yang dapat dilihat pada Tabel 2.2 dibawah ini:

Tabel 2. 2 Resistansi Jenis Tanah

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 Resistansi Pentanahan Menurut Persyaratan Umum Instalasi Listrik (PUIL) 2000

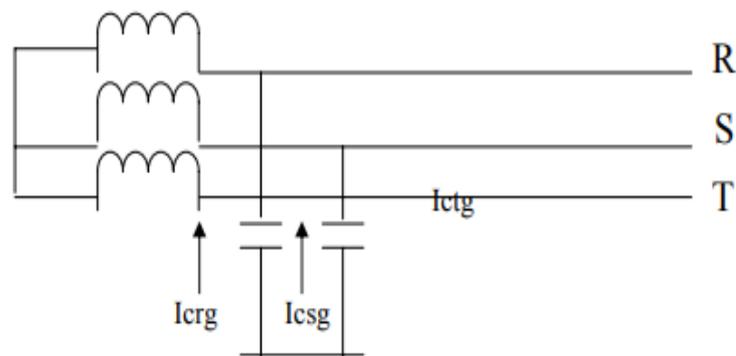
Resistansi pentanahan harus sekecil mungkin untuk menghindari bahaya-bahaya yang ditimbulkan oleh adanya arus gangguan tanah. Hantaran netral harus

diketanahkan di dekat sumber listrik atau transformator, pada saluran udara setiap 200m dan di setiap konsumen. Resistansi Pentanahan menurut Persyaratan Umum Instalasi Listrik (PUIL 2000) adalah penghubungan suatu titik sirkit listrik atau suatu penghantar yang bukan bagian dari sirkit listrik, dengan bumi menurut cara tertentu dan nilai resistansi pentanahan yang dipersyaratkan dalam PUIL 2000 adalah $\leq 5 \Omega$ dan untuk *Lightning Arrester* (LA) sendiri senilai $\leq 1,7 \Omega$.

2.13 Sistem-Sistem yang Diketanahkan⁶

2.13.1 Sistem Netral Tidak Diketanahkan

Arus I_{ctg} yang mengalir dari fasa yang terganggu ketanah, yang mana mendahului tegangan fasa aslinya kenetral 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.

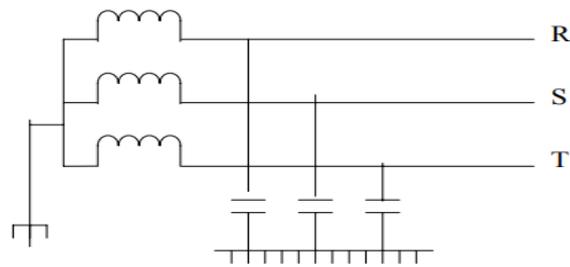


Gambar 2. 14 Sistem Netral Tidak Diketanahkan

2.13.2 Pentanahan Netral Langsung

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.



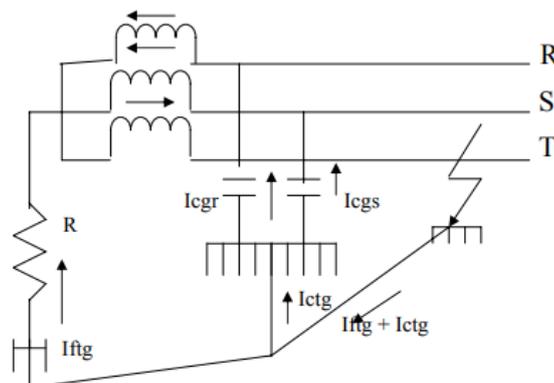
Gambar 2. 15 Pentanahan Netral Langsung

2.13.3 Pentanahan Titik Netral dengan Tahanan

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 tinggalkan 90° .

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.



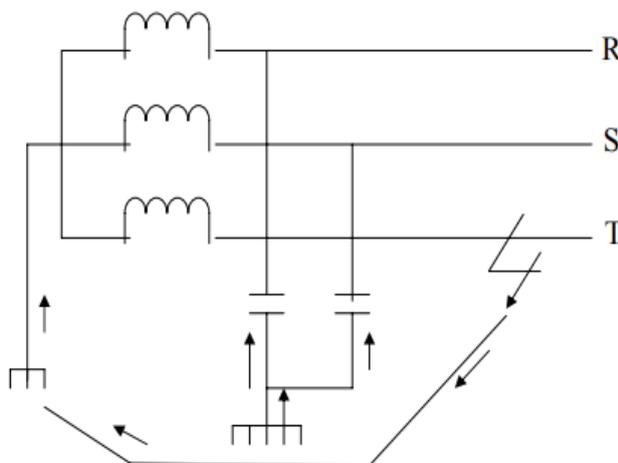
Gambar 2. 16 Pentanahan Titik Netral dengan Tahanan

2.13.4 Pentanahan Netral dengan 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 dari pentanahan tahanan:

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



Gambar 2. 17 Pentanahan Netral dengan Reaktansi

2.14 Sistem Pentanahan pada Gardu Distribusi

Bagian-bagian yang dipentanahkan pada gardu portal adalah:

1. Terminal netral sisi sekunder transformator.
2. *Lightning Arrester* (LA).
3. Bagian konduktif terbuka (BKT), 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.

2.15 Pengukuran Resistansi Pentanahan

Pengukuran tahanan pentanahan memiliki 2 cara yaitu:

1. Pengukuran Secara Langsung

Pengukuran secara langsung dibagi menjadi 2 metode yaitu:

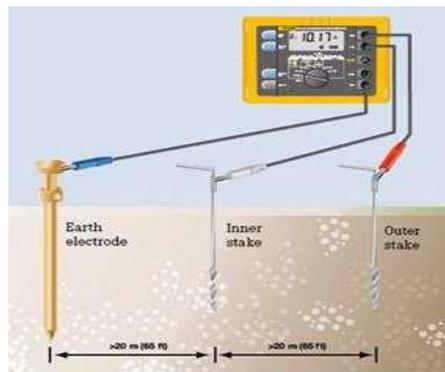
a) Metode Uji Drop Tegangan

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



Gambar 2. 18 Digital Earth Tester

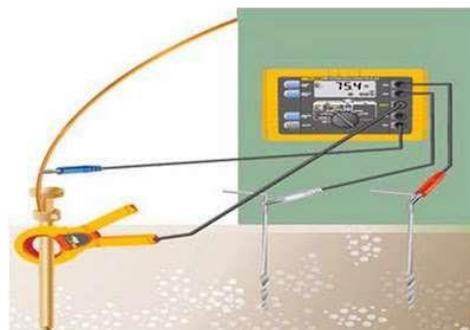
Earth tester akan mengukur tegangan antara batang elektroda bantu yang ada ditengah dan elektroda utama. Selanjutnya Earth Tester akan menghitung tahanan pentanahan menurut hukum ohm, dimana V adalah besarnya tegangan yang diukur dan I adalah besarnya arus yang kembali melalui elektroda utama. Cara pengukuran tahanan pentanahan dengan metode uji drop tegangan ditunjukkan pada gambar 2.19.



Gambar 2. 19 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.

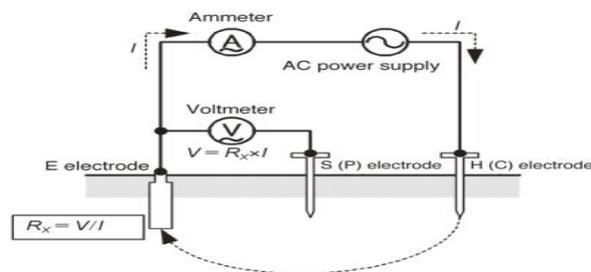


Gambar 2. 20 Skema Metode Selektif

2. Pengukuran Secara Tidak Langsung

Pengukuran secara tidak langsung merupakan proses pengukuran yang dilaksanakan dengan memakai beberapa jenis alat ukur berjenis komparator/pembanding, standar dan bantu. Perbedaan harga yang ditunjukkan oleh skala alat ukur dibandingkan dengan ukuran standar (pada alat ukur standar) dapat digunakan untuk menentukan dimensi objek ukur. Metode yang biasa digunakan dalam pengukuran secara tidak langsung adalah metode fall of potensial, yaitu dengan menggunakan amperemeter dan

voltmeter. karena untuk mendapatkan nilai tahanan pentanahan yaitu dengan membandingkan nilai tegangan dibagi dengan nilai arus yang didapat. Adapun cara pengukuran tahanan pentanahan menggunakan amperemeter dan voltmeter ditunjukkan pada Gambar 2.21.



Gambar 2. 21 Pengukuran Secara Tak Langsung Tahanan Pentanahan dengan Voltmeter dan Amperemeter

Cara pengukuran tahanan pentanahan seperti Gambar 2.21 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, yaitu:

$$R = \frac{V}{I} \dots\dots\dots(2.4)$$

Dimana:

R = Resistansi Pentanahan

V = Tegangan

I = Arus

2.16 Metode Inovasi Penyambungan Elektroda⁷

Metode ini merupakan suatu metode penanaman *grounding* dengan cara elektroda batang di rangkai estafet dan dilas dengan pipa dengan tujuan untuk

⁷ GROUNDING “RAISSA” (Grounding RAngkalan eStafet di laS dengan pipA) Makalah Karya Inovasi, 2017

mendapatkan nilai *grounding* sesuai SPLN <5 Ohm guna memperbaiki metode penanaman *grounding* selama ini dianggap belum efektif karena masih didapatkan nilai tahanan pentanahan yang masih tinggi agar dapat mengurangi gangguan Transformator Distribusi yang diakibatkan dari sambaran petir. Metode ini merupakan suatu metode yang memanfaatkan material yang biasa digunakan untuk pemasangan *grounding* dan hanya membutuhkan tambahan alat mesin las dan gerinda. Berikut material dan peralatan yang di butuhkan untuk melakukan metode inovasi penyambungan elektroda:

- a) Elektroda Batang, elektroda dari pipa atau besi baja profil yang dipancangkan ke dalam tanah.
- b) Pipa Besi (Pipa Galvanis), pipa yang biasa di gunakan untuk mengamankan kabel turunan BC atau AAAC (A3C) dari tiang ke elektroda. Dalam *Grounding* Raissa pipa besi di potong sekitar 20 cm yang di gunakan untuk menahan dan menghubungkan elektroda satu sama lain.
- c) Mesin Las, peralatan utama yang digunakan untuk menghubungkan antara elektroda satu sama lain dan pipa ke elektroda satu sama lain di tanam ke tanah dan di tambah lagi sesuai kebutuhan.
- d) Gerinda, peralatan penting di gunakan untuk memotong pipa besi sesuai kebutuhan, meratakan hasil las dan memotong elektroda sesuai kebutuhan.



Gambar 2. 22 Perbaikan *Grounding* dengan Metode Inovasi Penyambungan Elektroda