

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Gardu Induk

Gardu induk adalah alat penghubung listrik dari jaringan transmisi ke jaringan distribusi primer yang konstruksinya dapat dilihat pada gambar 2.1. Gardu induk merupakan sub sistem dari sistem penyaluran (transmisi) tenaga listrik, atau merupakan satu kesatuan dari sistem penyaluran yang disusun menurut pola tertentu dengan pertimbangan teknis, ekonomis, serta keindahan.



Gambar 2.1 Gardu Induk

2.2 Klasifikasi Gardu Induk

Klasifikasi Gardu Induk bisa dibedakan menjadi beberapa bagian yaitu :

2.2.1 Berdasarkan Besaran Tegangannya

Berdasarkan besaran tegangannya, terdiri dari :

- Gardu Transmisi adalah gardu induk yang tegangannya berupa tegangan ekstra tinggi atau tegangan tinggi.
- Gardu Distribusi adalah gardu induk yang menerima suplai tenaga dari gardu induk transmisi untuk diturunkan tegangannya melalui trafo daya menjadi ke



tegangan menengah (20kV).

2.2.2 Berdasarkan Pemasangan Peralatan

Gardu induk (biasanya disingkat GI). Gardu induk dibagi menjadi beberapa jenis, yaitu jenis pemasangan luar, jenis pemasangan dalam, jenis pemasangan setengah luar, jenis bawah tanah, jenis mobil dan sebagainya, sesuai dengan konstruksinya.

- **Gardu induk pemasangan luar**

Gardu induk jenis pemasangan luar terdiri dari peralatan tegangan tinggi pemasangan luar misalnya, transformator utama, peralatan penghubung (*switch gear*) dan sebagainya yang mempunyai peralatan kontrol pemasangan dalam, seperti meja penghubung (*switch board*) dan baterai. Gardu induk untuk transmisi yang mempunyai kondensator sinkron pemasangan dalam pada sisi tersier trafo utama dan trafo pemasangan dalam, pada umumnya disebut juga sebagai pemasangan luar. Jenis pemasangan luar memerlukan tanah yang luas, namun biaya konstruksinya murah dan pendinginnya murah. Karena itu gardu induk jenis ini bisa dipakai di pinggir kota dimana harga tanah murah.

- **Gardu induk pemasangan dalam**

Dalam gardu induk jenis pemasangan dalam ini, baik peralatan tegangan tinggi, seperti trafo utama, peralatan penghubung dan sebagainya, maupun peralatan kontrolnya, seperti meja penghubung dan sebagainya terpasang didalam. Meskipun ada sejumlah kecil peralatan terpasang diluar gardu induk, ini disebut juga sebagai pemasangan dalam.

Bila sebagian dari peralatan tegangan tingginya dipasang dibawah tanah, gardu induk ini dapat disebut jenis pemasangan setengah bawah tanah (*semi underground type*). Jenis pemasangan dalam dipakai dipusat kota dimana harga tanah mahal dan didaerah pantai dimana ada pengaruh kontaminasi garam. Disamping itu jenis ini mungkin dipakai untuk menjaga keselarasan dengan daerah sekitarnya juga untuk menghindari kebakaran dan gangguan suara.

- **Gardu induk setengah pemasangan luar**

Dalam gardu induk jenis setengah pemasangan luar (*semi outdoor substation*) sebagian dari peralatan tegangan tingginya terpasang didalam gedung. Gardu



induk jenis ini dipakai bermacam-macam corak dengan pertimbangan-pertimbangan ekonomis, pencegahan kontaminasi garam, pencegahan gangguan suara, pencegah kebakaran dan sebagainya.

- **Gardu induk pemasangan bawah tanah**

Dalam gardu induk jenis pemasangan bawah tanah hampir semua peralatan terpasang dalam bangunan bawah tanah. Alat pendinginnya biasanya terletak diatas tanah. Kadang-kadang ruang kontrolnya juga terletak diatas tanah. Dipusat kota, dimana tanah sukar didapat, jenis pemasangan bawah tanah ini dapat dipakai, misalnya dibagian kota yang sangat ramai, di jalan-jalan pertokoan dan di jalan-jalan dengan gedung bertingkat tinggi. Kebanyakan gardu induk ini dibangun di jalan raya.

- **Gardu induk jenis mobil**

Gardu induk jenis mobil dilengkapi dengan peralatan diatas kereta hela (trailer) atau semacam truck. Gardu induk jenis mobil ini dipakai dalam keadaan gangguan di suatu gardu induk, guna pencegahan beban lebih berkala dan guna pemakaian sementara ditempat pembangunan. Gardu induk ini juga banyak dipakai untuk kereta listrik. Untuk penyediaan tenaga listrik, gardu induk ini tidak dipakai secara luas, melainkan sebagai transformator atau peralatan penghubung yang mudah dipindah-pindah diatas kereta hela atau truck untuk memenuhi kebutuhan dalam keadaan darurat.

Selain gardu-gardu induk yang diatas, ada juga gardu induk yang disebut gardu satuan (*unit substation*) dan gardu jenis peti (*box type substation*). Gardu satuan adalah gardu pasangan luar yang dipakai sebagai lawan (ganti) transformator tiga fasa dan lemari gardu distribusi (yaitu yang disebut gardu hubung tertutup atau gardu hubung metal clad). Gardu jenis peti adalah gardu distribusi untuk tegangan dan kapasitas relatif rendah dan sama sekali dijaga. Ini dipakai untuk desa-desa pertanian atau desa nelayan dimana kebutuhannya kecil dan merupakan beban yang tidak begitu penting.

Didalam gardu induk terdapat pengaman yang digunakan untuk melindungi trafo utama dari tegangan lebih akibat surja, baik surja petir maupun



surja hubung yang disebut *arrester*.¹

2.3 Arrester

Arrester adalah alat pelindung bagi system tenaga listrik terhadap tegangan lebih yang disebabkan oleh petir atausurja hubung (*switching surge*). Alat ini digunakan sebagai jalan pintas (*by-pass*) sekitar isolasi. *Arrester* membentuk jalan yang mudah dilalui oleh arus kilat atau petir, sehingga tidak timbul tegangan lebih pada peralatan. Jalan pintas itu harus sedemikian rupa sehingga tidak mengganggu aliran arus daya system 50 hertz.



Gambar 2.2 Arrester Pada Gardu Induk Kenten

Pada keadaan normal *arrester* berlaku sebagai isolator dan bila timbul tegangan surja alat ini bersisat sebagai konduktor yang tahanannya relative rendah

¹ Dr. A. Arismunandar, Dr. S. Kuwahara, *Teknik Tenaga Listrik III*, Pt Pradnya Paramita, Jakarta, 1997, hlm. 1-2.



sehingga dapat mengalirkan arus ketanah. Setelah surja hilang, *arrester* harus dapat dengan cepat kembali menjadi isolator.

Sesuai dengan fungsinya, yaitu *arrester* melindungi peralatan listrik pada system jaringan terhadap tegangan-tegangan lebih yang disebabkan petir atau surja hubung. (Buku Petunjuk Operasi dan Pemeliharaan Peralatan PT. PLN, 1)

2.3.1 Karakteristik *Arrester* yang Ideal

1. Pada tegangan sistem yang normal *arrester* tidak boleh bekerja. Tegangan tembus *arrester* pada frekuensi jala-jala (*power frequency breakdown*) harus lebih tinggi dari tegangan lebih sempurna yang mungkin terjadi pada sistem (*single line to ground fault*).
2. Setiap gelombang transien dengan tegangan puncak yang lebih tinggi dari tegangan tembus *arrester* (U_A/E_A) harus mampu mengerjakan *arrester* untuk mengalurkan arus ke tanah.
3. *Arrester* harus mampu melakukan arus terpa ke tanah tanpa merusak *arrester* itu sendiri dan tanpa menyebabkan tegangan pada terminal *arrester* lebih tinggi dari tegangan sumbernya sendiri.
4. Arus sistem tidak boleh mengalir ke tanah setelah gangguan diatasi (*follow current*). *Follow current* harus dipotong begitu gangguan telah lalu dan tegangan kembali normal.²

2.3.2 Bagian *Arrester* yang Penting

a. Elektroda

Elektroda-elektroda ini adalah terminal dari *arrester* yang dihubungkan dengan bagian yang bertegangan dibagian atas dan elektroda bawah dihubungkan dengan tanah.

b. Sela Percikan

Apabila terjadi tegangan lebih oleh sambaran petir atau surja hubung pada *arrester* yang terpasang, maka sela percikan (*spark gap*) akan terjadi loncatan busur api. Pada beberapa tipe *arrester* busur api yang terjadi tersebut ditiup keluar oleh tekanan gas yang ditimbulkan oleh tabung fiber yang terbakar.

² Dr. Ir. Dipl. –Ing. H. Reynaldo Zoro, *Proteksi Terhadap Tegangan Lebih Pada Sistem Tenaga Listrik*, [Bandung:ITB], h. 68



c. Tahanan Katup

Tahanan yang digunakan dalam *arrester* ini adalah suatu jenis material yang sifat tahanannya akan berubah bila mendapatkan perubahan tegangan. (Buku Petunjuk Operasi dan Pemeliharaan Peralatan PT. PLN, 1)

2.4 Jenis-jenis *Lightning Arrester*

2.4.1 *Expulsion Type Lighting Arrester (Protector Tube)*

Merupakan tabung yang terdiri dari:

- a. Dinding tabung yang terbuat dari bahan yang mudah menghasilkan gas jika dilalui arus.
- b. Sela batang yang biasanya diletakkan pada isolator porselin, untuk mencegah arus mengalir dan membakar fiber pada tegangan jala-jala setelah gangguan diatasi.
- c. Sela pemutus bunga api diletakkan didalam tabung, salah satu elektroda dihubungkan ke tanah.

Tabung pelindung umumnya dipakai untuk melindungi isolator transmisi. tipe ini dipakai pada tiang transmisi sebelum memasuki gardu untuk memotong besar arus yang datang sehingga berfungsi mengurangi kerja dari *arrester* di gardu dan digunakan juga pada trafo trafo kecil di pedesaan.

2.4.2 *Valve Type Lighting Arrester (Pemotong Petir Jenis Katup)*

Arrester ini terdiri dari beberapa sela yang tersusun seri dengan piringan-piringan tahanan. Harga tahanannya turun dengan cepat pada saat arus surja mengalir sehingga tegangan antara terminal *arrester* tidak terlalu besar dan harga tahanan akan naik kembali jika arus surja sudah lewat sehingga membatasi arus ikutan (*follow current*). Sela api dari tahanan disusun secara seri dan ditempatkan di dalam rumah porselin kedap air sehingga terlindungi dari kelembaban, kotoran dan hujan.

Sela api terdiri dari beberapa elemen yang tersusun seri, masing-masing mempunyai dua elektroda dengan alat pengionisasi awal, diantara dua elemen secara paralel dipasang tahanan dengan impedansi yang tinggi untuk mengatur tegangan antara masing-masing elemen. Jika terjadi perubahan tegangan yang



lambat pada sistem, tahanan pengatur (*grading resistors*) akan mampu mencegah terjadinya tembus antara fasa dan antara fasa ketanah. Dan mencegah terjadinya tembus akibat gangguan pada sistem misalnya: tegangan tembus dalam (*inter overvoltage*) gangguan atau fasa ke tanah, kenaikan tegangan pada ujung transmisi akibat efek Ferranti.³

2.5 Prinsip Kerja *Arrester*

Pada pokoknya *arrester* ini terdiri dari 2 unsur yaitu sela api (*spark gap*) dan tahanan tak linier atau tahanan kran (*Valve arrester*). Keduanya dihubungkan secara seri. batas atas dan batas bawah dari tegangan percik ditentukan oleh tegangan sistem maksimum dari tingkat isolasi peralatan (BIL) peralatan yang dilindungi. Untuk pengaturan atau pembagian tegangan yang lebih baik memakai *arrester* yang dilengkapi oleh sistem pengaturan tegangan.

Bila permasalahannya tadi hanya melindungi isolasi terhadap bahaya kerusakan karena gangguan dengan tidak memperdulikan akibatnya terhadap pelayanan, maka cukup dipakai selawatan yang memungkinkan terjadinya pertikaian pada waktu tegangannya mencapai keadaan berbahaya. Dalam hal ini, tegangan sistem bolak-balik akan tetap mempertahankan busur api sampai pemutus bebannya dibuka.

Dengan menyambung sela api ini dengan semua tahanan, maka mungkin apinya dapat dipadamkan. Tetapi tahanannya mempunyai harga tetap, maka jatuh tegangannya menjadi besar sehingga maksud untuk melindungi isolator pun gagal. Oleh sebab itu, dipakai lah tahanan keran yang mempunyai sifat khusus bahwa tahanannya kecil sekali bila tegangannya dan arusnya besar.

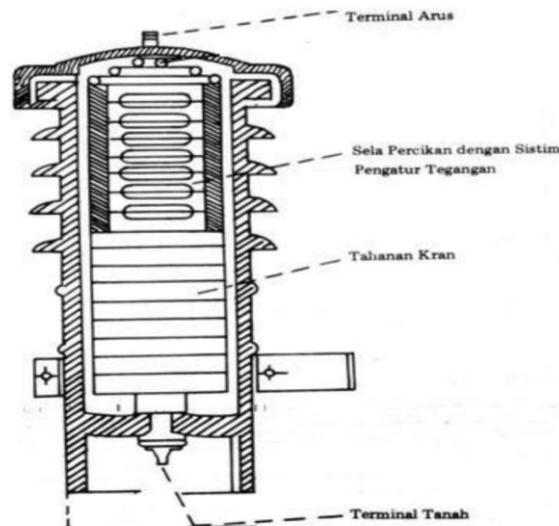
Proses pengecilan tahanannya berlangsung cepat sekali yaitu selama tegangan lebih mencapai harga puncaknya. Tegangan lebih dalam hal ini mengakibatkan penurunan drastis dari pada tahanan sehingga jatuh tegangannya dibatasi meskipun arusnya besar.

Bila tegangan lebih telah habis dan tegangan kembali normal, tahanannya naik kembali sehingga arus susulannya dibatasi sampai kira-kira 50 ampere. Arus

³ *Ibid*, hlm. 68-72



susulan ini akan dimatikan oleh sela api pada waktu tegangan sistemnya mencapai titik 0 pertama sehingga alat ini bertindak sebagai kran. Pada ares termmodern pemadaman arus susulan yang cukup besar (200-300 A) jadwal dilakukan dengan bantuan medan magnet.³



Gambar 2.3 Bagian-Bagian *Arrester*⁴

2.6 Sistem Pentanahan

Salah satu pengaman yang paling buruk terhadap peralatan listrik dari gangguan arus lebih ataupun hubungan singkat yaitu, dengan cara pentanahan. Cara ini juga dapat melindungi manusia dari adanya bahaya-bahaya yang dapat memakan korban dengan menghubungkan bagian dari peralatan tersebut dengan system pertanahan.

Pentanahan adalah penghubung suatu titik rangkaian listrik dengan bumi dengan cara tertentu, apabila suatu tindakan pengaman atau perlindungan yang akan dilaksanakan maka harus ada system pentanahan yang dirancang dengan benar. Agar system pentanahan dapat bekerja dengan efektif, adapun system pentanahan adalah sebagai berikut :⁵

⁴ Artono Arismunandar, *Teknik Tegangan Tinggi*, PT Pradnya Paramita, Jakarta, 1978, hlm.107-108

⁵ AS Pabla dan Ir. Abdul Hadi, *Sistem Distribusi Daya Listrik*, Erlangga, Jakarta, 1991, hlm. 154



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

2.7 Tujuan Pentanahan

Adapun tujuan sistem pentanahan secara umum adalah :⁶

1. Menjamin keselamatan orang dari sengatan listrik baik dalam keadaan normal atau tidak dari tegangan sentuh dan tegangan langkah.
2. Menjamin kerja peralatan listrik/elektronik.
3. Mencegah kerusakan peralatan listrik/elektronik.
4. Menyalurkan energi serangan petir ke tanah.
5. Menstabilkan tegangan dan memperkecil kemungkinan terjadinya flashover.
6. 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 :⁷

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

Secara singkat tujuan pengetanahan itu dapat diformulasikan sebagai berikut :

⁶ Sumardjati, Prih, dkk, *Teknik Pemanfaatan Tenaga Listrik Jilid 1*, Direktorat Pembinaan Sekolah Menengah Kejuruan, Jakarta, 2008, hlm. 159

⁷ TS Hutauruk, *Pengetanahan Netral Sistem Tenaga dan Pengetanahan Peralatan*, Erlangga, Jakarta, 1991, hlm. 125



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

2.8 Bagian-Bagian Sistem Pentanahan

Dibawah ini merupakan bagian-bagian system pertanahan

2.8.1 Kutup Pentanahan

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

2.8.2 Hantaran Penghubungan

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

2.8.3 Terminal Pentanahan

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

2.9 Pentanahan Peralatan⁸

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

Sistem pentanahan ini berguna untuk memperoleh potensial yang merata

⁸ *ibid*, hlm.138



dalam suatu bagian struktur dan peralatan serta untuk memperoleh impedensi yang rendah sebagai jalan balik arus hubungan singkat ke tanah.

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

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

2.9.1 Pentanahan Grid (*Horizontal*)

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

2.9.2 Pentanahan Rod

Pentanahan rod yaitu sistem pentanahan yang menanamkan elektroda pentanahan tegak lurus di permukaan tanah, fungsinya hanya untuk mengurangi atau memperkecil tahanan pentanahan, maka jumlah penanaman batang elektroda pentanahan dapat diperbanyak. Bila terjadi arus gangguan ke tanah, maka arus



gangguan ini akan mengakibatkan naiknya gradient di permukaan tanah. Besarnya tegangan maksimum yang timbul sebanding dengan tahanan pentanahan.

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

Bila jarak antara konduktor makin pendek dan jumlah konduktor yang ditanam makin banyak, maka akan semakin kecil konduktivitas dari masing-masing konduktor.

2.10 Komponen Pentanahan

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

2.10.1 Hantaran Penghubung

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

2.10.2 Elektroda Pentanahan

Yang dimaksud dengan elektroda pentanahan adalah penghantar yang ditanam dalam bumi dan membuat kontak langsung dengan bumi. Sedangkan menurut SNI 225-87/320.A.1, elektroda pentanahan adalah sebuah atau sekelompok penghantar yang mempunyai kontak yang erat dengan bumi dan menghantari hubungan listrik dengan bumi. Elektroda pentanahan tertanam sedemikian rupa dalam tanah berupa pita logam, batang konduktor, pipa air minum dari tulang besi beton pada tiang pancang. Elektroda pentanahan merupakan bagian yang langsung menyebarkan arus kedalam bumi, hubungan



atau kotak elektroda dengan bumi merupakan bagian yang langsung menyebarkan arus kedalam bumi, hubungan atau kontak elektroda dengan bumi ini harus sebaik mungkin, tahan terhadap gangguan arus listrik, korosi maupun gangguan mekanik. Jadi yang diharapkan adalah hubungan listrik dengan impedansi yang serendah mungkin dan tahan lama. Ada beberapa macam elektroda pentanahan yang bias dipakai, diantaranya elektroda pentanahan pita dan elektroda batang. Sifat-sifat dari sebuah sistem elektroda tanah ialah hambatan arus melewati sistem elektroda tanah tiga komponen, yaitu :

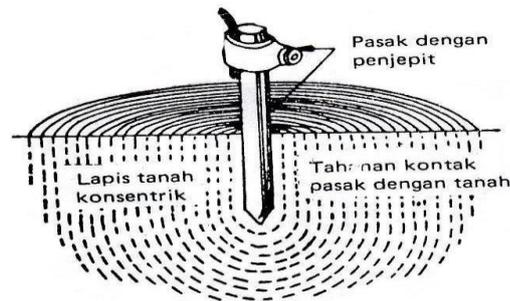
- a. Tahanan pasaknya sendiri dan sambungan-sambungan nya.
- b. Tahanan kontak antara pasak dengan tanah sekitar.
- c. Tahanan tanah di sekelilingnya.

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

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

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

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

Gambar 2.4 Komponen sistem pentanahan⁹

2.11 Tahanan Jenis Tanah dan Tipe Tanah

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

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

Harga tahanan jenis tanah harus diambil untuk keadaan yang paling buruk yaitu sewaktu tanah dalam keadaan kering dan dingin. Untuk melihat gambaran mengenai besarnya tahanan jenis tanah untuk bermacam-macam jenis tanah dapat dilihat pada tabel 2.1.

Dalam penggunaan data data pada tabel sering terjadi kesulitan karena komposisi tanah biasanya terdiri dari dua atau lebih kombinasi lapisan dari bermacam-macam tanah. hal yang penting dalam penyelidikan karakteristik tanah

⁹ Pabla, *Op. Cit.*, hlm. 158



ialah mencari tahanan jenis tanah. Harga tahanan jenis tanah ini selalu bervariasi sesuai dengan keadaan tanah pada saat pengukuran, karena itu sebaiknya dicantumkan keadaan cuaca dan basah keringat tanah pada waktu pengukuran dilakukan.

Tabel 2.1 Tahanan Jenis Tanah¹⁰

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

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

$$\rho = 2.\pi.a.R \dots\dots\dots (2.1)^{11}$$

dimana :

ρ = tahanan jenis rata-rata tanah (ohm-meter)

a = jarak antara batang elektroda yang terdekat (meter)

R = besar tahanan yang diukur (ohm)

2.12 Pengaruh Kelembaban¹²

Harga tahanan jenis tanah sangat dipengaruhi oleh konsentrasi air tanah. Pada kelembaban tanah yang rendah tahanan jenis tanah besar, sebaliknya

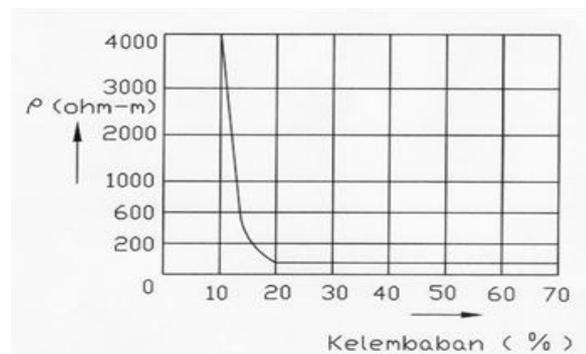
¹⁰ PUIL 2000, hlm. 80

¹¹ Hutauruk, *Op. Cit.*, hlm. 149

¹² Dian Eka Putra dan Jaka Udi, "Pengukuran Grounding SIIPanel Distribusi Instalasi Rekam Medis RSUP Dr. Mohammad Hoesin Palembang", Jurnal Ampere, Vol.3, Juni 2018, hlm. 131



semakin besar konsentrasi air dalam tanah, maka harga tahanan jenis akan semakin kecil. Proses mengalirnya arus listrik di dalam tanah sebagian besar adalah karena proses elektrolisis, maka dari itu di dalam air tanah akan mempengaruhi konduktivitas atau daya hantar listrik tanah tersebut. Dengan demikian tahanan jenis tanah akan dipengaruhi pula oleh besaran konsentrasi air tanah. Semakin besar konsentrasi air di dalam tanah maka konduktivitas tanah akan semakin besar, sehingga tahanan jenis tanah akan turun sesuai dengan hubungan pada gambar 2.7 di bawah ini.



Gambar 2.5 Perubahan Tahanan Jenis Tanah Terhadap Kelembaban¹³

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

Suatu hal yang menarik dari gambar tersebut adalah bahwa harga tahanan jenis tanah menunjukkan adanya kejenuhan untuk kelembaban harga tahanan di atas 15%, maka kenaikan dari kelembaban tidak banyak terhadap tahanan jenis tanah.

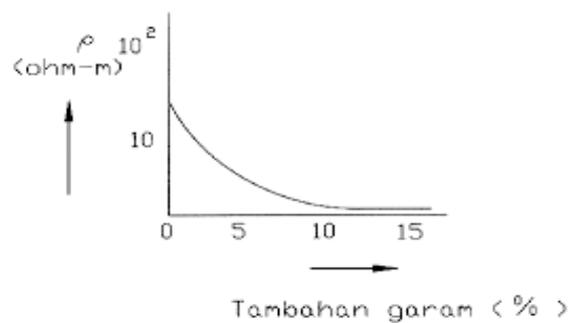
Oleh karena itu, penting bagi kita untuk menambahkan elektroda pentanahan pada tempat yang berhubungan langsung dengan air tanah. Untuk

¹³ *Ibid.*



melakukan hal ini elektroda elektroda pentanahan ditanam di tempat-tempat yang cukup dalam di bawah permukaan air.

Dengan jalan demikian pula, maka pengaruh perubahan musim terhadap tahanan jenis tanah atau terhadap tahanan pentanahan elektroda dapat diperkecil. cara lain untuk memperkecil tahanan jenis tanah serta pengaruh dari musim adalah dengan jalan memberikan semacam zat kimia di sekitar elektroda secara periodik yang terlihat pada gambar 2.8 di bawah ini.



Gambar 2.6 Penggaraman Tanah¹⁴

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

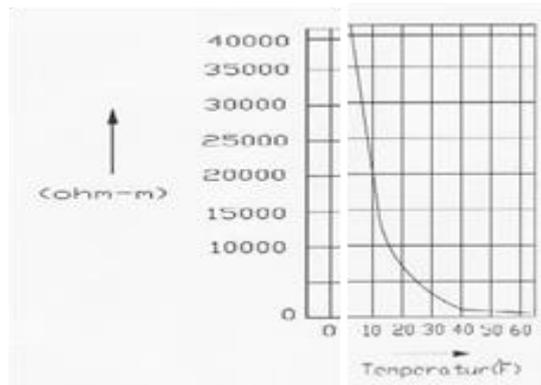
2.13 Pengaruh Suhu atau Temperatur¹⁵

Temperatur tanah di sekitar elektroda pentanahan juga berpengaruh terhadap besaran tahanan jenis tanah terutama bila temperatur di bawah titik beku.

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

¹⁴ *Ibid*, hlm. 132

¹⁵ *Ibid*.



Gambar 2.7 Pengaruh Temperatur Terhadap Tahanan Jenis Tanah¹⁶

2.14 Macam-Macam Elektroda Pentanahan

Ada beberapa macam bentuk pertanahan¹⁷

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

2.14.1 Elektroda Bentuk Batang

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

Elektroda batang adalah elektroda berbentuk pita atau batang baja profil maupun logam lain yang dipasangkan tegak lurus ke dalam tanah. Dalam pemasangan elektroda batang diusahakan setegak lurus mungkin, dengan tujuan agar dicapai kedalaman yang maksimum, dimana diharapkan terdapat lapisan tanah dengan tahanan jenis yang cukup rendah. dalam perhitungan diasumsikan batang tertanam tegak lurus, sehingga kedalaman elektroda tertanam sama dengan panjangnya Batang yang ditanam. Besarnya tahanan pentanahan elektroda batang tergantung pada kedalaman batang yang tertanam, tetapi adakalanya dengan menggunakan sebuah elektroda batang saja tidak tercapai nilai tahanan pentanahan yang diinginkan, sehingga dalam pemasangannya sering digunakan

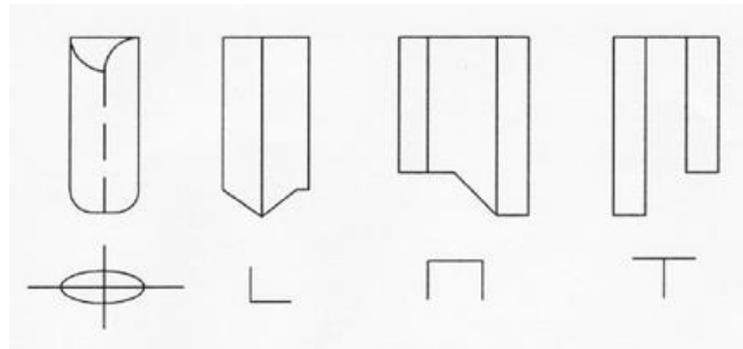
¹⁶ *Ibid.*

¹⁷ Hutaaruk, *Op. Cit.*, hlm. 145-146



beberapa elektroda batang yang dihubungkan satu dengan yang lainnya. Elektroda batang ini ditanam dengan kedalaman antara 1 - 10 meter.

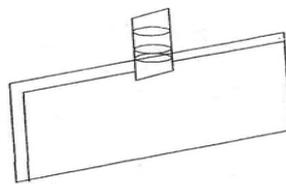
Elektroda pentanahan bentuk batang terbuat dari pipa atau profil. Elektroda ini ditanam tegak lurus dalam tanah, elektroda batang yang digunakan ini memiliki bentuk L, U dan T dibentuk sedemikian rupa. Di bawah ini digambarkan macam bentuk elektroda batang.



Gambar 2.8 Macam-macam Elektroda Batang¹⁸

2.14.2 Elektroda Bentuk Plat

Elektroda berbentuk plat ini terdiri dari sebuah plat yang hipersink dengan permukaan 1 m² dengan tebal 3 mm. Plat ditanam tegak lurus dengan tanah. Sisi plat bagian atas sedikit harus 1 m di bawah permukaan tanah. makin banyak jumlah plat diparalelkan dalam pertanahan itu makin kecil tahanan pentanahan itu, dan plat yang terpasang itu jarak satu sama lain paling sedikit 3 m.



Gambar 2.9 Elektroda Plat¹⁹

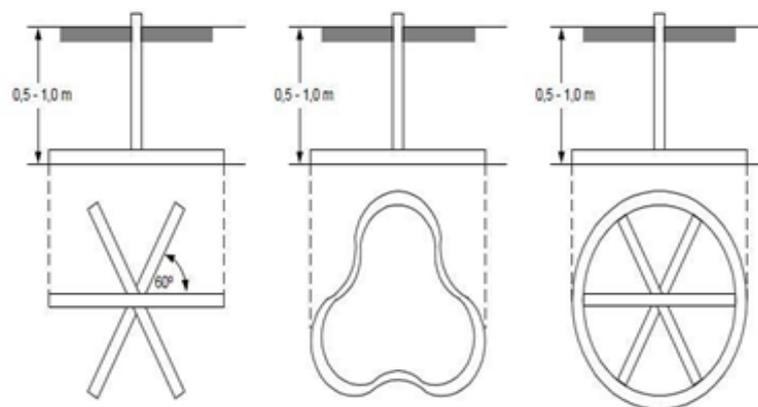
¹⁸ Agus Purnama, Elektronika Dasar, diakses dari <http://elektronika-dasar.web.id/teori-elektronika/nilai-resistansi-grounding-yang-baik/>, pada tanggal 05 mei 2021, pukul 19.30

¹⁹ *Ibid.*



2.14.3 Elektroda Bentuk Pita

Elektroda ini dibuat dari baja yang dihipersink dengan penampang 100 mm² tebal 3 mm. Kalau dibuat dari tembaga penampangnya 50 mm². Elektroda ini ditanam dalam tanah sedalam 0,5 sampai 1 m. Elektroda bentuk pita ini terdiri dari tiga macam yaitu bentuk sharl, bentuk cincin, bentuk maschen seperti yang ditunjukkan pada gambar 2.11.



Gambar 2.10 Elektroda Pita²⁰

2.15 Faktor-Faktor yang Menentukan Tahanan Pentanahan

Tahanan pentanahan elektroda tergantung dari beberapa faktor yaitu :

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

2.16 Pengaruh Tahanan Tanah Terhadap Tahanan Elektroda

Tahanan elektroda pentanahan ke tanah tidak hanya tergantung pada kedalaman dan luas permukaan elektroda, tetapi juga pada tahanan tanah. Tahanan tanah merupakan faktor kunci yang menentukan tahanan elektroda dan pada kedalaman berapa elektroda atau pasak harus ditanam agar diperoleh tahanan yang rendah. Tahanan tanah sangat bervariasi di berbagai tempat, dan berubah

²⁰ *Ibid.*



tahanannya menurut iklim. Tahanan Tanah ini ditentukan oleh kandungan elektrolit di dalamnya, kandungan air, mineral-mineral, dan garam-garam. Tanah yang kering mempunyai tahanan yang tinggi, tetapi tanah yang basah dapat juga mempunyai tahanan yang tinggi apabila tidak mengandung garam-garam yang dapat larut.

Karena tahanan tanah berkaitan langsung dengan air dan suhu, maka apa saja diasumsikan bahwa tahanan pentanahan suatu sistem akan berubah sesuai perubahan iklim setiap tahunnya. variasi-variasi tersebut dapat dilihat karena kandungan air dan suhu lebih stabil pada kedalaman yang lebih besar, maka agar dapat bekerja efektif sepanjang waktu, sistem pentanahan dapat dikonstruksikan dengan elektroda atau pasak tanah yang ditancapkan cukup dalam di bawah permukaan tanah. hasil terbaik akan diperoleh apabila kedalaman elektroda atau pasak mencapai tingkat kandungan air yang tetap.²¹

2.17 Ukuran-Ukuran Penghantar Tanah

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

Luas untuk sambungan-sambungan yang dilas :

$$L = 12,15 \times 10^{-3} I \sqrt{t} \dots\dots\dots (2.2)^{22}$$

Luas untuk sambungan-sambungan dengan sekrup :

$$L = 15,7 \times 10^{-3} I \sqrt{t} \dots\dots\dots (2.3)^{22}$$

Dimana :

I = Arus gangguan dalam ampere

t = Lamanya terjadi gangguan, biasanya diambil dari 5

Dalam memilih penghantar, selain stabilitas termal sesuai dengan penggunaan rumus di atas, kekuatan terhadap gerak mekanis dan terhadap korosi pemilihan penghantar dapat dipertimbangkan. Terhadap gerak mekanis ukuran minimum penghantar baja plat strip tidak boleh kurang dari $10 \times 6 \text{ mm}^2$ dan untuk

²¹ Pabla, *Op. Cit.*, hlm. 159

²² *Ibid*, hlm. 161



ketahanan terhadap korosi pemilihan penghantar dapat mempertimbangkan hal-hal berikut :

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

Dibandingkan dengan sambungan sekrup Pada sambungan las dapat timbul sedikit korosi pada sambungan oleh bahan las atau teknik pengelasan nya sendiri. Hindarkan cara las titik dan gunakan last kontinyu. penghantar dapat dipilih dari ukuran ukuran standar seperti $10 \times 6 \text{ mm}^2$, $20 \times 6 \text{ mm}^2$, $30 \times 6 \text{ mm}^2$, $40 \times 5 \text{ mm}^2$, $50 \times 6 \text{ mm}^2$, $60 \times 6 \text{ mm}^2$, $50 \times 8 \text{ mm}^2$, $65 \times 8 \text{ mm}^2$.²³

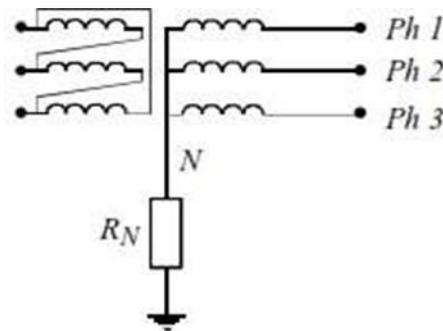
2.18 Sistem – Sistem Yang Diketanahkan

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.

2.18.1 Titik Netral Ditanahkan Melalui Tahanan

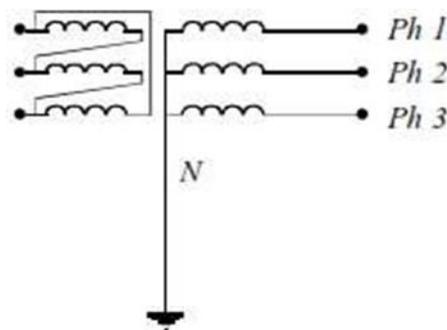
Dalam pentanahan ini harga tahanan mempunyai harga ohm yang tinggi dibandingkan dengan reaktansi sistem sehingga arus *line to ground fault* dibatasi oleh resistor tersebut. Dalam transmisi tegangan tinggi atau sistem kabel, arus kapasitif yang terjadi adalah kecil dibandingkan dengan arus resistif dan dapat diabaikan. Tetapi apabila terjadi *line to ground fault* terjadi kerugian tenaga yang besar pada resistor. Besarnya nilai ohm dari *grounding* resistor tergantung pada besarnya tegangan sistem dan kapasitas sistem. Gambar 2.11 dibawah ini menunjukkan sistem pentanahan titik netral melalui tahanan.

²³ *Ibid.*

Gambar 2.11 Pentanahan Titik Netral Melalui Tahanan²⁴

2.18.2 Titik Netral Ditanahkan Langsung (*Solid Grounding*)

Pentanahan ini ialah apabila titik netral dari trafo kita hubungkan langsung ke tanah. Sistem ini apabila terjadi gangguan kawat tanah akan mengakibatkan terganggunya kawat (*line outage*) dan gangguan ini harus diisolasi dengan membuka pemutus daya. Salah satu tujuan untuk mentanahkan titik netral secara langsung adalah untuk membatasi kenaikan tegangan dari fasa – fasa yang tidak terganggu, bila terjadi gangguan kawat tanah. Adapun sistem pentanahan titik netral langsung ditunjukkan oleh gambar 2.12.

Gambar 2.12 Pentanahan Titik Netral Langsung²⁵

2.18.3 Titik Netral Ditanahkan Melalui Reaktansi

Sistem pentanahan ini ialah menghubungkan titik netral trafo tenaga ketanah dengan suatu reaktansi yang besarnya tertentu, ($X_0 \leq 10X_1$). Dilihat dari

²⁴ Hazairin Samaullah, *Dasar Dasar Sistem Proteksi Tenaga Listrik Jilid 1*, [Palembang:UNSRI], Hlm. 75

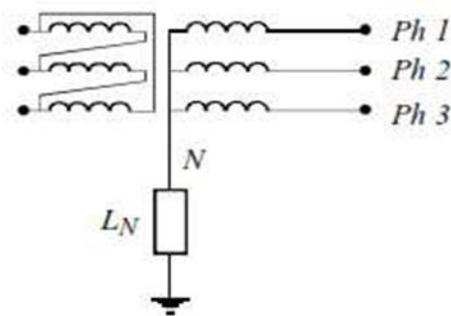
²⁵ *Ibid*, hal. 76



besarnya perbandingan X_0 dan X_1 sistem pentanahan ini terletak antara pentanahan efektif dan sistem yang ditanahkan dengan kumparan *Petersen*. Keuntungan dari sistem pentanahan melalui reaktansi adalah :

- a. Arus hubung singkat diperkecil.
- b. Tegangan fasa – fasa yang terganggu terbatas naiknya.
- c. *Arching ground* tidak membahayakan.

Contoh gambar dari sistem pentanahan titik netral melalui reaktansi dapat dilihat pada gambar 2.13.



Gambar 2.13 Pentanahan Titik Netral Melalui Reaktansi²⁶

2.19 Metode Pentanahan pada Gardu

Berikut penggunaan metode pentanahan pada gardu :

2.19.1 Kriteria Perencanaan Pentanahan²⁷

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

1. Faktor keandalan meliputi sistem ini meliputi antara lain :
 - a. Pemilihan cara pembumian netral sistem dan pengamanannya.
 - b. Penyesuaiannya pada interkoneksi.
2. Faktor keselamatan adalah usaha keselamatan manusia di dalam maupun di luar Gardu Induk. Faktor meliputi usaha-usaha :
 - a. Keselamatan dalam keadaan tidak ada gangguan.

²⁶ *Ibid*, hal. 77

²⁷ SK Direksi Bidang Transmisi Sistem Pentanahan PT. PLN (Persero)



- b. Keselamatan dalam keadaan ada gangguan.
3. Faktor ekonomi mempertimbangkan investasi dari :
 - a. Pemilihan pentanahan netral sistem dan pengamanannya.
 - b. Pemilihan tingkat isolasi dasar (TID) peralatan utama dan koordinasi isolasinya.
 - c. Usaha memperbaiki pengaruh induktif dan interferensi radio.
 - d. Faktor iklim juga bisa mempengaruhi besar tahanan pentanahan pada gardu induk.

2.19.2 Pentanahan Peralatan Penangkal Petir

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

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

Untuk sistem yang digunakan pada gardu induk yang bersangkutan, besarnya tahanan pentanahan untuk arrester harus dibuat sekecil mungkin dan harganya dibatasi di bawah 5 ohm. Pemilihan kawat pentanahan harus memenuhi persyaratan dan menurut *National Elektrik Code*, besarnya kawat tanah tidak boleh lebih kecil dari No. 6 AWG. Dan untuk sistem yang tegangan lebih besar harus memakai kawat yang lebih besar untuk tegangan antara 413 kV dianjurkan menggunakan kawat No. 2 AWG.²⁸

2.20 Menghitung Tahanan Pentanahan

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

²⁸ Samaullah, *Op. Cit.*, hlm. 88



2.20.1 Elektroda Batang (Rod)

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

a. Elektroda Batang Tunggal

Untuk elektroda yang ditanam tegak lurus pada kedalaman beberapa cm dari permukaan tanah, nilai tahanannya :

$$R = \frac{\rho}{2 \pi \times L} \left(\ln \frac{4L}{a} - 1 \right) \dots \dots \dots (2.4)^{29}$$

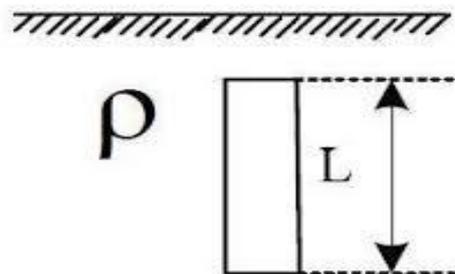
Dimana :

R= Tahanan pentanahan(Ω)

ρ = Tahanan jenis tanah (Ωm)

L= Panjang elektroda (m)

a = Jari-jari elektroda batang (m)



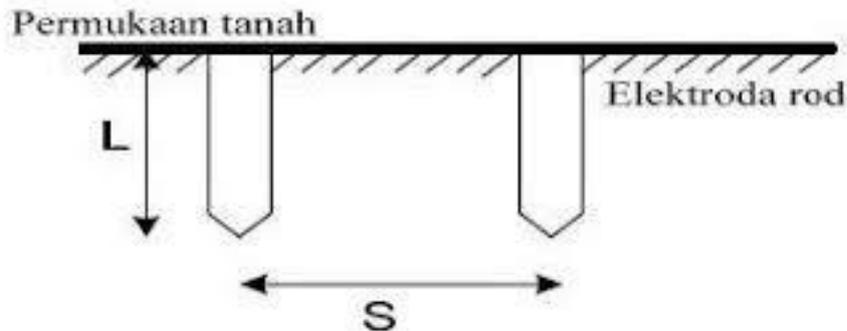
Gambar 2.14 Penggunaan Elektroda Batang Tunggal³⁰

²⁹ Arif Dermawan, Makalah Tugas Akhir: "Analisis Perbandingan Nilai Tahanan Pentanahan Yang ditanam di Tanah dan di Septictank Pada Perumahan" (Semarang:UDIP,2011),hal.3.

³⁰ *Ibid.*



b. Dua Batang Elektroda

Gambar 2.15 Penggunaan Dua Batang Elektroda³¹

Untuk $S > L$, yaitu :

$$R = \frac{\rho}{4\pi \cdot L} \left(\ln \frac{4L}{a} - 1 \right) + \frac{\rho}{4 \times \pi \times S} \left(1 - \frac{L^2}{3S^2} + \frac{2L^4}{5S^2} \right) \dots \dots \dots (2.5)^{28}$$

Untuk $S < L$, yaitu :

$$R = \frac{\rho}{4\pi \cdot L} \left(\ln \frac{4L}{a} + \ln \frac{4L}{S} - 2 + \frac{S}{2L} - \frac{S^2}{16L^2} + \frac{S^4}{512L^4} \right) \dots \dots \dots (2.6)^{31}$$

Dimana :

R= Tahanan pentanahan(Ω)

P= Tahanan jenis tanah (Ωm)

L= Panjang elektroda (m)

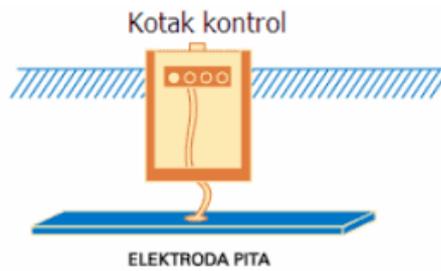
S= Jarak penanaman antara dua elektroda (m)

a = Jari-jari elektroda batang (m)

2.20.2 Elektroda Pita

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

³¹ *Ibid.*

Gambar 2.16 Penggunaan Elektroda Pita³²

$$R = \frac{\rho}{\pi \cdot L} \left[\ln \left(\frac{Z \cdot X \cdot L}{\sqrt{d \cdot X \cdot Z}} \right) + \frac{1,4 \cdot X \cdot L}{\sqrt{A}} - 5,6 \right] \dots\dots\dots (2.7)^{32}$$

Dimana :

R= Tahanan pentanahan (Ω)

ρ = Tahanan jenis tanah (Ωm)

L= Panjang total grid kawat (m)

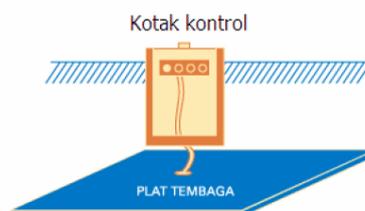
d= Diameter kawat (m)

Z= Kedalaman penanaman (m)

A= Luasan yang dicakup oleh grid (m)

2.20.3 Elektroda Plat

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

Gambar 2.17 Penggunaan Elektroda Plat³²

³² *ibid.*



$$R = \frac{\rho}{2\pi \cdot L} \left[\left(\ln \frac{8 \times W}{0,5 W + T} \right) - 1 \right] \dots\dots\dots (2.8)^{33}$$

Dimana:

R= Tahanan pentanahan (Ω)

ρ = Tahanan jenis tanah (Ωm)

L= Panjang total grid kawat (m)

W= Lebar pelat (m)

T= Tebal pelat (m)

2.20.4 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 air minum dan selubung logam kabel.

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. 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 mm², atau dengan pita baja digalvanisasi dengan ukuran minimum 25 mm² (tebal pita minimum 3 mm).

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

³³ *ibid.*



berikut:

- 4mm² tembaga untuk kabel dengan penampang inti sampai 6mm².
- 10mm² tembaga untuk kabel dengan penampang inti 10mm² atau lebih.

Untuk melihat ukuran minimum elektroda pentanahan lebih jelas dapat dilihat pada tabel 2.2.

Tabel 2.2 Ukuran Minimum Elektroda Pentanahan³⁴

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 μm	
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

³⁴ PUIL, *Op. Cit.*, hlm. 82



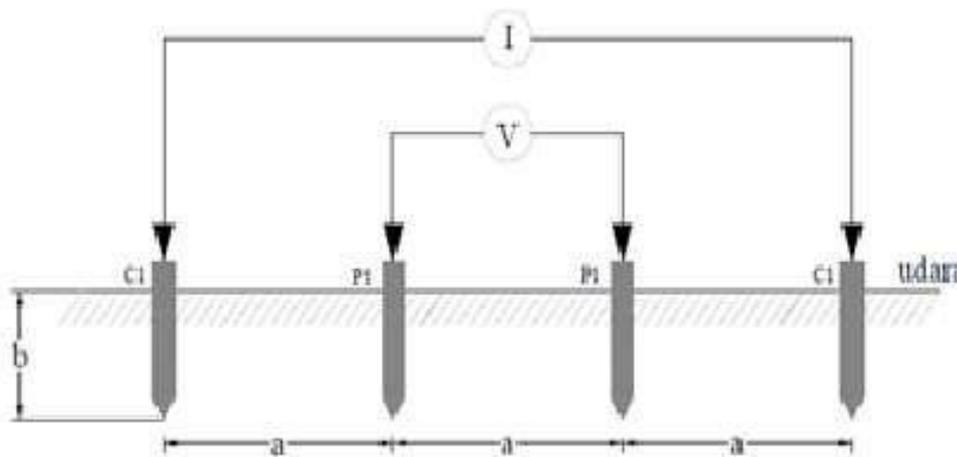
2.21 Pengukuran Tahanan Jenis Tanah dan Pengukuran Tahanan Pentanahan

2.21.1 Pengukuran Tahanan Jenis Tanah

Adapun pemilihan jenis – jenis metode pengujian yang sering dilakukan untuk mengukur tahanan jenis tanah adalah:

1. Metode Wenner

Susunan metode *Wenner* dapat ditunjukkan seperti Gambar 2.18 dibawah ini.



Gambar 2.18 Susunan *Wenner*³⁵

Dalam Metode *Wenner*, ke empat elektroda untuk masing-masing tes diregangkan dengan setiap pemasangan masing-masing berukuran sama secara berdekatan. Susunan *Wenner* mempunyai dua perspektif pelaksanaan. Pada sisi negatifnya metode ini membutuhkan kabel yang panjang, elektroda yang besar dan setiap jarak renggangnya membutuhkan satu orang per elektroda untuk melengkapi penelitian sesuai dengan waktu yang dibutuhkan. Dan juga karena ke empat elektroda yang dipindahkan itu mudah terbaca dengan berbagai macam pengaruh.

³⁵ Elektro, Metode Pengukuran Tahanan Jenis Tanah, diakses dari <http://puilsigit.blogspot.com/2013/11/metodepengukuran-tahanan-jenis-tanah.html?m=1>, pada tanggal 29 Juli 2021, pukul 08:10



Sedangkan sisi positifnya susunan ini sangat cocok dan efisien untuk mengetahui perbandingan tegangan yang masuk per unitnya dari arus yang mengalir. Pada kondisi yang tidak baik seperti, tanah kering atau tanah padat membutuhkan waktu yang lama untuk mengetahui kontak tahanan antara elektroda dengan tanah. Tahanan Jenis Tanah dengan metode *Wenner* dapat dihitung dengan persamaan 2.9.

$$\rho_a = \frac{4 \pi a R}{1 + \frac{2a}{\sqrt{a^2 + 4b^2}} - \frac{a}{\sqrt{a^2 + b^2}}} \dots\dots\dots (2.9)$$

ρ_a = Tahanan Jenis Tanah (Ωm)

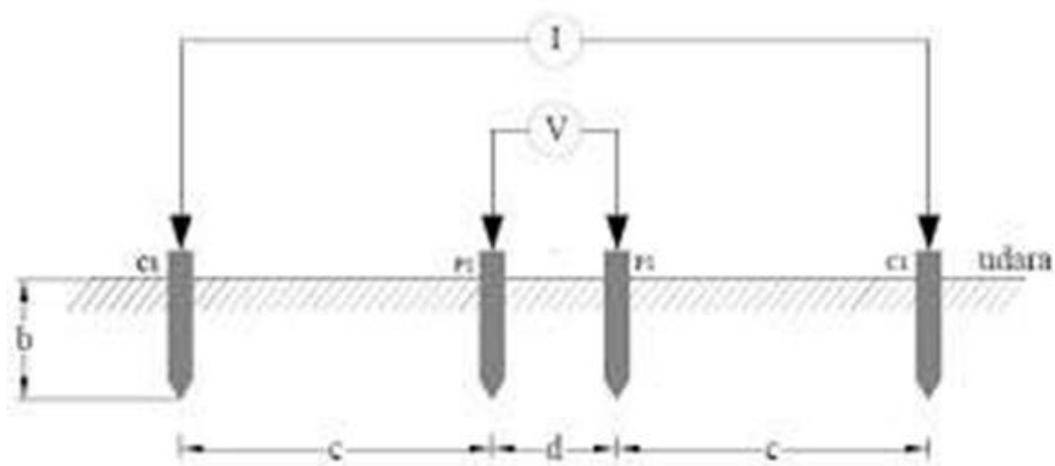
R = Tahanan yang Terukur

a = jarak antara elektroda (m)

b = elektroda yang tertanam (m)

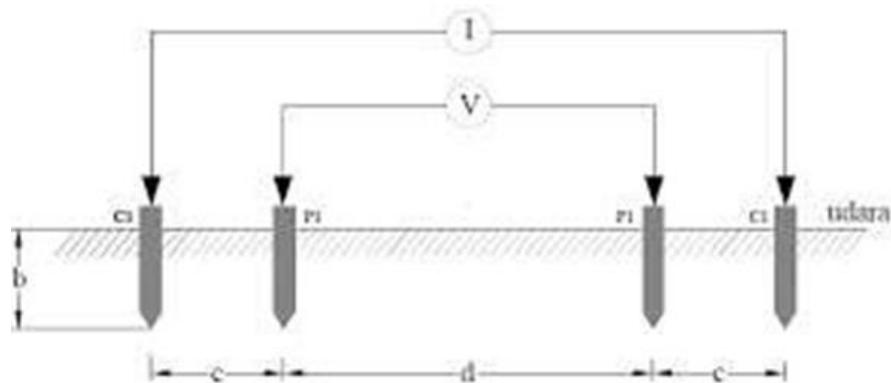
2. Metode *Schlumberger*

Susunan metode *Schlumberger* dapat ditunjukkan seperti Gambar 2.19 dan Gambar 2.20 berikut ini.



Gambar 2.19 Susunan *Schlumberger*³⁶

³⁶ *Ibid.*

Gambar 2.20 Susunan *Schlumberger* Balik³⁷

Pada Gambar 2.19 untuk mengukur jarak pisah elektroda bagian luar adalah 4 atau 5 kali dari jarak pisah elektroda bagian dalam. Berkurangnya jumlah elektroda bagian dalam untuk mengetahui jarak pisah elektroda bagian luar juga berdampak pada berkurangnya efek samping dalam hasil tes. Untuk memperoleh hasil tes sesuai dengan waktu yang disediakan, itu dapat diperoleh dengan cara menukar antara jarak pisah elektroda bagian dalam dengan elektroda bagian luar dari susunan *schlumberger* seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.16, ketika ada masalah pada tahanan kontak. Selama tahanan kontak dalam keadaan normal yang mengakibatkan elektroda arus lebih besar tegangannya dari jarak pisah elektroda bagian dalam yang diubah itu, kedua-duanya dapat digunakan sebagai elektroda arus dan konfigurasi ini disebut susunan *schlumberger* balik.

Penggunaan metode *schlumberger* balik menambahkan tingkat keamanan seseorang ketika dialirkan arus yang besar. Penampang kabel yang lebih besar itu dibutuhkan jika aliran arusnya juga besar. Susunan *schlumberger* balik mengurangi panjangnya kabel yang lebih besar dan sesuai dengan waktu yang tersedia. Jarak pisah antara elektroda bagian luar adalah sejarak 10 meter dan untuk elektroda bagian dalam adalah $\frac{1}{2}$ dari elektroda bagian luar. Dalam hal ini, jarak kerenggangan pada elektroda bagian luar harus lebih kecil. Metode *Schlumberger* dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$\rho = \pi c (c+d) R/d \dots\dots\dots(2.10)$$

Dimana :

³⁷ *Ibid.*



ρ = Tahanan Jenis Tanah ($\Omega.m$)

R = tahanan yang terukur (Ω)

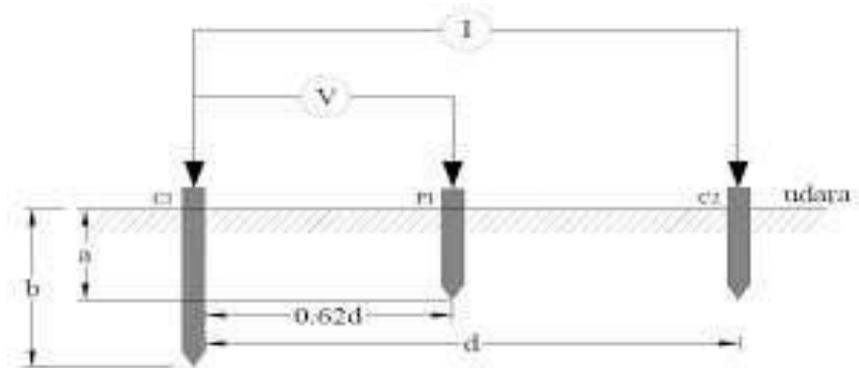
c = Jarak antara elektroda bagian luar dengan bagian dalam (m)

d = jarak antara elektroda bagian dalam (m)

b = elektroda yang tertanam (m)

3. Metode *Driven Rod*

Metode *Driven Rod* (tiga pancangan) atau Metode *Fall Of Potential* cocok digunakan dalam keadaan normal, seperti garis transmisi pada sistem pentanahan atau permasalahan dalam area, kesemuanya ini disebabkan karena pemasangan yang dangkal, kondisi tanah, penempatan pengukuran area dan tidak samanya jenis tanah pada dua lapisan tersebut. Metode *Driven Rod* ditunjukkan seperti Gambar 2.21 di bawah ini.



Gambar 2.21 Metode *Driven Rod*³⁸

Metode *Driven Rod* dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$\rho = \frac{2\pi LR}{\ln \frac{4L}{a} - 1} \dots \dots \dots (2.11)$$

Dimana :

R = Tahanan pembumian elektroda batang (Ω)

ρ = Tahanan jenis tanah ($\Omega.m$)

L = Panjang batang yang tertanam (m)

³⁸ *ibid.*



a = Jari-jari elektroda batang (m)

2.21.2 Pengukuran Tahanan Pentanahan

Pengukuran tahanan pentanahan memiliki 2 cara yaitu :

a. Pengukuran Secara Langsung

Pengukuran secara langsung dibagi menjadi 2 metode yaitu :

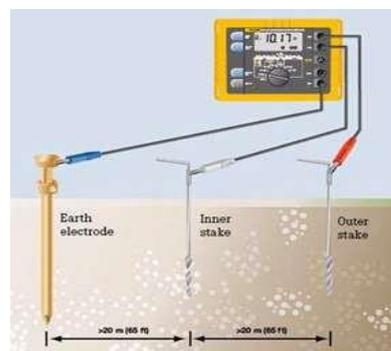
1. Metode Uji Drop Tegangan

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.

Earth tester akan mengukur tegangan antara batang elektroda bantu yang ada ditengah dan elektroda utama. Selanjutnya *Earth tester* akan menghitung tahanan pentanahan menurut hukum ohm dimana V adalah besarnya tegangan yang diukur dan I adalah besarnya arus yang kembali melalui elektroda utama. Cara pengukuran tahanan pentanahan dengan metode uji drop tegangan ditunjukkan oleh Gambar 2.22.



Gambar 2.22 Skema Uji Drop Tegangan³⁹

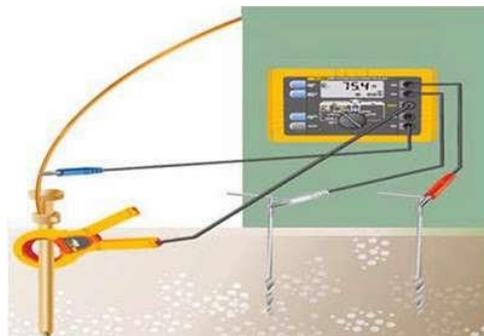
³⁹ Margiono Abdil, Pengukuran/Pengetesan Tahanan Pentanahan, diakses dari http://margionoabdil.blogspot.com/2013/10/pengukuranpengetesan-tahanan-pentanahan_12.html, pada tanggal 28 Juli 2021, pukul 09:00



1. 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.

Seperti halnya pada pengetesan tahanan pentanahan dengan metode uji drop tegangan, 2 buah elektroda bantu ditancapkan ke tanah secara segaris, jauh dari elektroda utama. Biasanya, dengan jarak 10 - 15 meter. Kemudian alat uji (*earth tester*) dihubungkan ke elektroda utama, dengan kelebihan tidak perlu melepaskan hubungan konduktor yang menghubungkan batang pentanahan dengan alat yang ditanahkan. Akan tetapi, klem khusus dijepitkan di sekitar elektroda utama, yang dapat menghilangkan pengaruh tahanan paralel dalam sistem yang ditanahkan, jadi hanya elektroda utama terkait yang diukur menggunakan klem tersebut. Arus yang dihasilkan juga akan mengalir melalui tahanan paralel lain, tapi hanya arus elektroda utama yang digunakan untuk menghtiung tahanan. Jika tahanan total sistem pentanahan harus diukur, maka masing-masing tahanan elektroda tanah harus diukur dengan menempatkan klem di sekitar masing-masing elektroda tanah secara individual. Kemudian total tahanan sistem pentanahan bisa ditentukan dengan kalkulasi (perhitungan). Cara pengukuran tahanan pentanahan dengan metode selektif ditunjukkan oleh Gambar 2.23.



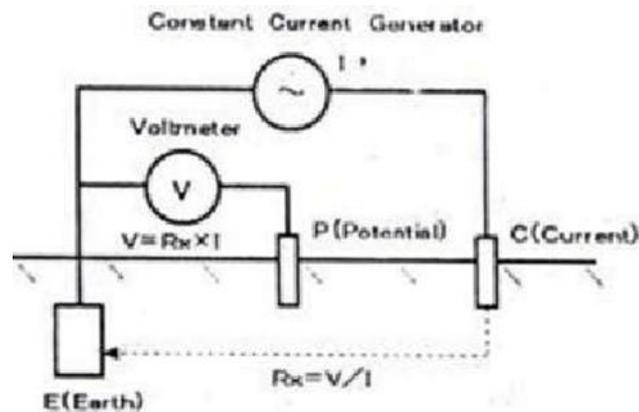
Gambar 2.23 Skema Pengetesan Tahanan Pentanahan Dengan Metode Selektif⁴²

⁴² *Ibid.*



b. 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 2.20.



Gambar 2.24 Pengukuran Secara Tak Langsung Tahanan Pentanahan Dengan Voltmeter dan Amperemeter⁴³

Cara pengukuran tahanan pentanahan seperti Gambar 2.20 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

⁴³ *Ibid.*



P, sambungkan amperemeter menuju sumber daya AC kemudian ke elektroda C. Kemudian baca nilai masing – masing voltmeter dan amperemeter.

2.22 Standarisasi Tahanan Pentanahan

Seperti yang diketahui bahwa tahanan pentanahan suatu sistem harus bernilai yang sekecil-kecilnya. Persyaratan Umum Listrik (PUIL) 2000 menyatakan bahwa nilai tahanan pentanahan untuk sebuah instalasi listrik ialah maksimum 5Ω .⁴⁴

⁴⁴ PUIL, *Op Cit.*, hlm. 68