



BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Umum

Salah satu faktor kunci dalam setiap pengamanan atau perlindungan rangkaian listrik baik keamanan bagi peralatan maupun keamanan bagi manusia adalah dengan cara menghubungkan bagian dari peralatan tersebut yaitu badan dari peralatan dengan sistem pentanahan. Pentanahan adalah penghubung suatu titik rangkaian listrik atau suatu penghantar yang bukan bagian dari rangkaian listrik dengan bumi menurut cara tertentu yang sesuai dengan PUIL (Peraturan Umum Instalasi Listrik) yang dipakai di Indonesia.

Pentanahan pada gardu-gardu induk bisa dilakukan dengan berbagai cara seperti dengan menanamkan batang-batang konduktor tegak lurus (vertikal) terhadap permukaan tanah atau dengan cara menanamkan batang-batang konduktor sejajar (horizontal) terhadap permukaan tanah. Penanaman ini dilakukan dengan kedalaman tertentu dibawah permukaan tanah. Hal ini dilakukan agar mendapatkan suatu sistem yang bisa mengamankan peralatan dan manusia yang ada disekitar peralatan yang ditanahkan. Kadang juga ditemui kesulitan dalam penanaman batang-batang dari elektroda pentanahan ini seperti pada lokasi yang berbatu, walaupun demikian sistem pentanahan ini sangat penting dan sangat diprioritaskan dalam usaha pengamanan atau perlindungan terhadap peralatan dan manusia. Oleh karena itu, perlu dilakukan suatu sistem pentanahan yang cocok dengan lokasi atau daerah dimana setiap peralatan yang ada harus dipasang pentanahan.

Selain keadaan diatas dapat juga timbul beberapa keadaan yang akan menyulitkan dalam memperoleh harga atau nilai tahanan pentanahan yang di inginkan. Apabila timbul keadaan tersebut dapat digunakan beberapa metode untuk mendapatkan harga atau nilai tahanan pentanahan yang cocok seperti penanaman elektroda pentanahan secara paralel, perlakuan terhadap kondisi kimiawi tanah,



penanaman pasak tanam dalam dengan beberapa pasak. Selain metode diatas ada juga metode lain yaitu penanaman plat tanam, penghantar tanam, beton kerangka baja yang secara listrik terhubung dan lain-lain.

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

1. Membuat jalur impedansi yang rendah ketanah untuk pengamanan personil dan peralatan, menggunakan rangkaian efektif.
2. Menggunakan elektroda pentanahan yang tahan korosi terhadap berbagai macam kondisi kimiawi tanah, untuk meyakinkan kontinuitas penampilannya sepanjang umur peralatan yang dilindungi.
3. Dapat melawan dan menyebarkan gangguan berulang dan arus akibat surja hubung (*surge currents*).
4. Menggunakan sistem mekanik yang kuat namun mudah dalam pelayanan.

2.2 Tujuan Pentanahan Peralatan

Pentanahan peralatan, berlainan dengan pentanahan sistem, ialah pentanahan bagian dari peralatan yang pada kerja normal tidak dilalui arus.

Tujuan pentanahan peralatan itu adalah :

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. Untuk mencapai tujuan ini, suatu sistem pentanahan peralatan atau instalasi dibutuhkan. Sistem pentanahan ini gunanya ialah untuk memperoleh potensial yang merata (uniform) dalam semua bagian struktur dan peralatan, dan juga untuk menjaga agar operator atau orang yang berada di daerah instalasi itu berada pada potensial yang sama dan tidak berbahaya pada setiap waktu. Dengan dicapainya potensial yang hampir merata pada semua titik dalam daerah sistem pentanahan ini, kemungkinan timbulnya perbedaan
-



potensial yang besar pada jarak yang dapat dicapai oleh manusia sewaktu terjadi hubung singkat kawat ke tanah menjadi sangat diperkecil.

2. Tujuan kedua dari pentanahan peralatan ini ialah untuk memperoleh impedansi yang kecil/rendah dari jalan balik arus hubung singkat ke tanah. Kecelakaan pada personil timbul pada saat hubung singkat ke tanah terjadi. Jadi bila arus hubung singkat ke tanah itu dipaksakan mengalir melalui impedansi tanah yang tinggi, ini akan menimbulkan perbedaan potensial yang besar dan berbahaya. Juga impedansi yang besar pada sambungan-sambungan pada rangkaian pentanahan dapat menimbulkan busur listrik dan pemanasan yang besarnya cukup menyalakan material yang mudah terbakar.^[3]

Secara singkat tujuan pengetanahan peralatan itu dapat diformulasikan sebagai berikut^[3]:

- 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.

2.3 Keselamatan Listrik Bagi Manusia

Keselamatan kerja listrik adalah keselamatan kerja yang bertalian dengan alat, bahan, proses, tempat (lingkungan) dan cara-cara melakukan pekerjaan. Tujuan dari keselamatan kerja listrik adalah untuk melindungi tenaga kerja atau orang dalam melaksanakan tugas-tugas atau adanya tegangan listrik disekitarnya, baik dalam bentuk instalasi maupun jaringan.

Pada dasarnya keselamatan kerja listrik adalah tugas dan kewajiban dari, oleh dan untuk setiap orang yang menyediakan, melayani dan menggunakan daya listrik. Undang undang no.1 tahun 1970 adalah undang undang keselamatan kerja,yang di dalamnya telah diatur pasal-pasal tentang keselamatan kerja untuk pekerja-pekerja listrik. Latar belakang keselamatan kerja listrik tidak lepas dari



tingkat kehidupan masyarakat baik pendidikan, sosial ekonominya dan kebiasaan akan merupakan faktor-faktor yang banyak kaitannya dengan keselamatan kerja. Kecepatan perkembangan perlistrikan dengan luasnya jangkauan dan besarnya daya pembangkit melampaui kesiapan masyarakat yang masih terbatas pengetahuannya tentang seluk beluk perlistrikan. Persyaratan Umum Instalasi Listrik (PUIL) merupakan rambu-rambu utama dalam menanggulangi bahaya listrik yang diakibatkan oleh pelayanan, penyediaan dan penggunaan daya listrik.^[5]

2.3.1 Arus Melalui Tubuh Manusia

Kemampuan tubuh manusia terhadap besarnya arus yang mengalir didalamnya. Tetapi berapa besar dan lamanya arus yang masih dapat ditahan oleh tubuh manusia sampai batas yang belum membahayakan sukar diterapkan. Dalam hal ini telah banyak diselidiki oleh para ahli dengan berbagai macam percobaan baik dengan tubuh manusia sendiri maupun menggunakan binatang tertentu. Dalam batas-batas tertentu di mana besarnya arus belum berbahaya terhadap organ tubuh manusia telah diadakan berbagai percobaan terhadap beberapa orang sukarelawan yang menghasilkan batas-batas besarnya arus dan pengaruhnya terhadap manusia yang berbadan sehat. Batas-batas arus tersebut dibagi sebagai berikut :

1. Arus mulai terasa atau persepsi
2. Arus mempengaruhi otot
3. Arus mengakibatkan pingsan atau mati atau arus fibrilasi
4. Arus reaksi

2.3.2 Arus Persepsi

Bila orang memegang penghantar yang diberi tegangan mulai dari harga nol dan dinaikkan sedikit demi sedikit, arus listrik yang melalui tubuh orang tersebut akan memberi pengaruh. Mula-mula akan merangsang syaraf



sehingga akan terasa suatu getaran yang tidak berbahaya, bila dengan arus bolak-balik. Tetapi bila dengan arus searah akan terasa sedikit panas pada telapak tangan. Pada Electrical Testing Laboratory New York tahun 1993 telah dilakukan pengujian terhadap 40 orang laki-laki dan perempuan, dan didapat arus rata-rata sebagai berikut :

- Untuk laki-laki : 1,1 mA
- Untuk perempuan : 0,7 mA^[3]

2.3.3 Arus Mempengaruhi Otot

Bila tegangan yang menyebabkan terjadinya tingkat arus persepsi dinaikan lagi maka orang akan terasa sakit dan kalau terus dinaikan maka otot – otot terasa kaku sehingga orang tersebut tidak berdaya lagi untuk melepaskan konduktor yang dipegangnya itu. Di University of California Medical School telah dilakukan penyelidikan terhadap 134 orang laki laki dan 28 orang perempuan dan diperoleh angka rata – rata dan arus yang mempengaruhi otot adalah sebagai berikut :

- Untuk Laki – laki : 16 mA
- Untuk Perempuan : 10,5 mA

Berdasarkan atas penyelidikan ini telah ditetapkan batas maksimal dimana orang masih dapat dengan segera melepaskan konduktor bila terkena arus listrik sebagai berikut:

- Untuk Laki - laki : 9 mA
- Untuk Perempuan : 6 mA

2.3.4 Arus Fibrilasi

Apabila arus yang melewati tubuh manusia lebih besar dari arus mempengaruhi otot dapat mengakibatkan orang menjadi pingsan bahkan sampai mati. Hal ini disebabkan arus listrik yang mempengaruhi jantung yang disebut *ventricular fibrillation* yang menyebabkan jantung berhenti bekerja dan Peredaran darah tidak jalan dan orang akan segera mati. Untuk menyelidiki



keadaan ini tidak mungkin dapat dilakukan terhadap manusia. Untuk mendapatkan nilai pendekatan suatu percobaan telah dilakukan pada *University of California* oleh Daiziel pada tahun 1968, dengan menggunakan binatang yang mempunyai badan dan jantung kira – kira sama dengan manusia. Dari percobaan tersebut Dalziel menarik kesimpulan bahwa 99,5 % dari semua orang bertanya kurang 50 kg masih dapat bertahan besar arus dan waktu yang ditentukan.^[3]

$$I_k^2 \cdot t = K \text{ atau } I_k = k / \sqrt{?}$$

Di mana :

$$k = \sqrt{?}$$

$$K = 0,0135 \text{ untuk manusia dengan berat 50 kg}$$

$$= 0,0246 \text{ untuk manusia dengan berat 70 kg}$$

maka :

$$K_{50} = 0,116 \text{ Amper}$$

$$k_{70} = 0,157 \text{ Amper}$$

jadi :

$$I_k^2 \cdot t = 0,0135 \text{ untuk manusia dengan berat 50 kg}$$

$$I_k = \frac{0,116}{\sqrt{?}} \quad (2.1)$$

Di mana :

I_k = Besarnya arus yang lewat pada tubuh manusia (A)

t = Waktu arus lewat tubuh manusia atau lama gangguan tanah (detik)

2.3.5 Arus Reaksi

Arus reaksi adalah arus yang terkecil yang dapat mengakibatkan orang menjadi terkejut, hal ini cukup berbahaya karena dapat mengakibatkan kecelakaan sampingan. Karena terkejut orang dapat jatuh dari tangga,



melemparkan peralatan yang sedang dipegang yang dapat mengenai bagian-bagian instalasi bertegangan tinggi sehingga terjadi kecelakaan yang lebih fatal. Penyelidikan yang terperinci telah dikemukakan oleh DR.Hans Prinz di mana batasan-batasan arus tersebut disusun menurut tabel 2.1.^[3]

Tabel 2.1 Batasan – Batasan Arus dan Pengaruhnya Pada Manusia^[3]

Besar Arus	Pengaruh Pada Tubuh Manusia
0 – 0,9 mA	Belum dirasakan pengaruhnya, tidak menimbulkan reaksi apa – apa.
0,9 – 1,2 mA	Baru terasa adanya arus listrik, tetapi tidak menimbulkan akibat kejang, kontraksi atau kehilangan kontrol.
1,2 – 1,6 mA	Mulai terasa seakan – akan ada yang merayap didalam tangan.
1,6 – 6,0 mA	Tangan sampai ke siku merasa kesemutan.
6,0 – 8,0 mA	Tangan mulai kaku, rasa kesemutan makin bertambah.
13 – 15,0 mA	Rasa sakit tidak tertahankan, penghantar masih dapat melepaskan dengan daya besar sekali.
15 – 20,0 mA	Otot tidak sanggup lagi melepaskan penghantar.
20 – 50,0 mA	Dapat mengakibatkan kerusakan tubuh manusia.
50 – 100,0 mA	Batas arus yang dapat meyebabkan kematian.

2.3.6 Tahanan Tubuh Manusia

Tahanan tubuh manusia berkisar di antara 500 Ohm sampai 100.000 Ohm tergantung dari tegangan, keadaan kulit pada tempat yang mengadakan hubungan (Kontak) dan jalannya arus dalam tubuh. Kulit yang terdiri dari lapisan tanduk mempunyai tahanan yang tinggi, tetapi terhadap tegangan yang tinggi kulit yang menyentuh konduktor langsung terbakar, sehingga tahanan dari kulit ini tidak berarti apa-apa. Tahanan tubuh manusia ini yang dapat membatasi arus.



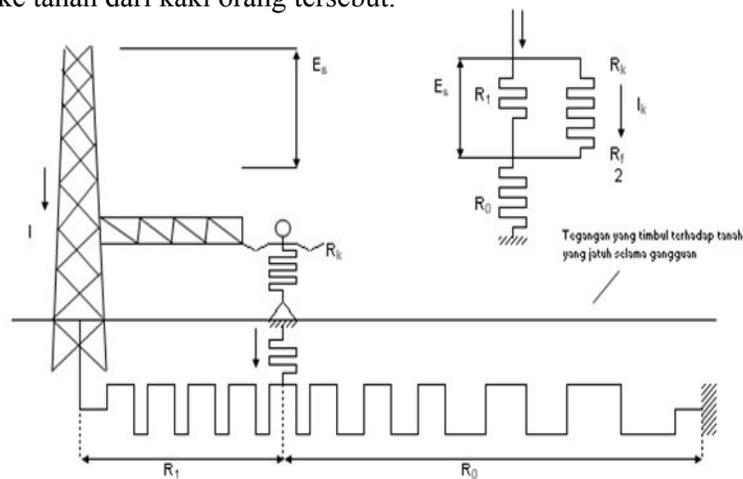
Berdasarkan hasil penyelidikan oleh para ahli maka sebagai pendekatan diambil harga tahanan tubuh manusia sebesar 1000 Ohm.^[3]

Tabel 2.2 Berbagai Harga Tahanan Tubuh Manusia^[3]

Peneliti	Tahanan (Ohm)	Keterangan
Dalziel	500	dengan tegangan 60 cps.
AIEE Committee Report 1958	2.330	dengan tegangan 21 Volt. tangan ke tangan $I_k = 9$ mA.
	1.130	tangan ke kaki
	1.680	tangan ke tangan dengan arus searah
	800	tangan ke kaki dengan 50 cps.
Laurent	3.000	

2.3.7 Tegangan Sentuh

Tegangan sentuh adalah tegangan yang terdapat diantara suatu obyek yang disentuh dan suatu titik yang berjarak 1 meter, dengan asumsi banyak obyek yang disentuh dihubungkan dengan kisi – kisi pengetanahan yang berada dibawahnya. Besar arus gangguan dibatasi oleh tahanan orang dan tahanan kontak ke tanah dari kaki orang tersebut.



Gambar 2.1 Tegangan sentuh dengan rangkaian penggantinya



Dari rangkaian pengganti dapat dilihat hubungan sebagai berikut :

$$E_s = (R_k + R_f/2) \cdot I_k \quad (2.2)$$

Di mana :

E_s = tegangan sentuh (V)

R_k = tahanan badan orang (1000 Ohm)

R_f = tahanan kontak ke tanah dari satu kaki pada tanah yang diberi lapisan koral 10 cm (3000 Ohm)

I_k = besarnya arus yang melalui badan (A)

Tahanan badan orang telah diselidiki oleh beberapa ahli sebagaimana terdapat dalam tabel 2.2 dan sebagai harga pendekatan diambil $R_k = 1000$ Ohm. Tahanan R_f mendekati harga $3 \rho_s$ di mana ρ_s adalah tahanan jenis tanah di sekitar permukaan. Arus I_k diambil dari harga dalam persamaan (2.1), dimana $I_k = 0,116 / \sqrt{t}$

Dengan demikian tegangan sentuh menjadi :

$$E_s = (1000 + 3 \rho_s / 2) 0,116 / \sqrt{t} \quad (2.3)$$

Di mana :

ρ_s = tahanan jenis tanah

t = waktu kejut (detik) atau lama gangguan tanah

Dan tegangan sentuh yang sebenarnya dapat dihitung dengan persamaan (2.4)

$$E_m = K_m K_i \rho_s \quad (2.4)$$

Di mana :

$$K_m = \frac{1}{2} \left(\frac{\rho_s^2}{16 h} + \frac{1}{\rho_s} \ln \left(\frac{3}{4} \frac{2(\rho_s - 2) + 1}{2(\rho_s - 2) + 2} \right) \right) \quad (2.5)$$

K_i = faktor koreksi untuk ketidakmerataan kerapatan arus, yang

dihitung dengan rumus empiris : $= 0,65 + 0,172 \times n$



- D = jarak antara konduktor-konduktor paralel (meter)
 h = kedalaman penanaman konduktor (meter)
 d = diameter konduktor (meter)
 n = jumlah konduktor paralel
 ρ = tahanan jenis rata-rata tanah
 I = besar arus gangguan tanah
 L = panjang konduktor pentanahan yang ditanam termasuk semua batang pentanahan

Dalam tabel 2.3 diberikan besar tegangan sentuh yang diizinkan dan lama gangguan.

Tabel 2.3 Tegangan Sentuh Yang Diizinkan^[3]

Lama gangguan / (detik)	Tegangan sentuh yang diizinkan (Volt)
0,1	1.980
0,2	1.400
0,3	1.140
0,4	990
0,5	890
1,0	626
2,0	443
3,0	362

2.3.8 Tegangan Langkah

Tegangan langkah adalah tegangan yang timbul diantara dua kaki orang yang sedang berdiri diatas tanah yang sedang dialiri oleh arus kesalahan ketanah. Dalam hal ini dimisalkan jarak antara kedua kaki orang adalah 1 meter dan diameter kaki dimisalkan 8 cm dalam keadaan tidak memakai sepatu.^[3]



Dan tegangan langkah yang sebenarnya dapat dihitung dengan persamaan (2.7)

$$E_{\ell} = K_s K_i \frac{I}{L} \quad (2.7)$$

Dimana :

ρ = tahanan jenis rata-rata tanah

K_i = $0,65 + 0,172 \times n$

I = arus gangguan tanah maksimum

L = panjang total konduktor yang ditanam, termasuk batang pentanahan

$K_s = \frac{1}{\rho} \left(\frac{1}{2h} + \frac{1}{\rho + h} + \frac{1}{2\rho} + \frac{1}{(\rho - 1)\rho} \right)$

h = kedalaman penanaman konduktor pentanahan

D = jarak antara konduktor parallel

Dalam tabel 2.4 diberikan besar tegangan langkah yang diizinkan dan lama gangguan.^[3]

Tabel 2.4 Tegangan Langkah Yang Diizinkan^[3]

Lama gangguan / (detik)	Tegangan langkah yang diizinkan (Volt)
0,1	7.000
0,2	4.950
0,3	4.040
0,4	3.500
0,5	3.140
1,0	2.216
2,0	1.560
3,0	1.280



2.3.9 Tegangan Pindah

Tegangan pindah adalah hal khusus dari tegangan sentuh, dimana tegangan ini terjadi bila pada saat terjadi kesalahan orang berdiri didalam gardu induk, dan meyentuh suatu peralatan yang diketanahkan pada titik jauh sedangkan alat tersebut dialiri oleh arus kesalahan ketanah. Orang akan merasakan tegangan yang lebih besar bila dibandingkan dengan tegangan sentuh, Tegangan pindah akan sama dengan tegangan pada tahanan kontak pengetanahan total. Tegangan pindah itu sulit untuk dibatasi, tetapi biasanya konduktor – konduktor telanjang yang terjangkau oleh tangan manusia telah diisolasi. Untuk waktu tertentu dari arus gangguan, dalam detik, tegangan pindah yang diizinkan sama dengan tegangan sentuh.^[3]

2.4 Jenis - jenis Pentanahan

Pada penggunaannya, pentanahan di suatu Gardu Induk terdapat beberapa macam jenis, yaitu pentanahan sistem dan pentanahan peralatan.

2.4.1 Pentanahan Sistem

Pentanahan sistem adalah pentanahan dari titik yang merupakan bagian dari jaringan listrik, misalnya titik netral generator atau transformator atau titik pada hantaran tengah atau hantaran netral. Suatu gangguan bumi (Ground fault) pada salah satu bagian dari salah satu sistem harus dapat dilokalisir dan dapat diamankan tanpa mematikan atau mengganggu keseluruhan sistem, sehingga keandalan dan kontinuitas pelayanan dapat dijamin. Dengan dipasangnya sistem pentanahan ini, maka dapat diharapkan gangguan yang terjadi dapat dibatasi terjadi pada grup sistem yang bersangkutan saja.^[3]

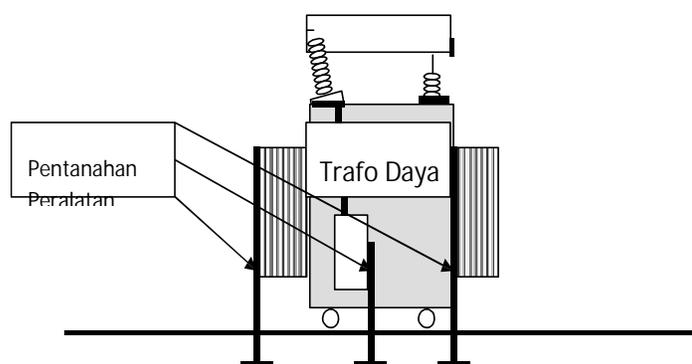
Metode-metode pentanahan dari sistem tenaga adalah :

1. Pentanahan langsung / tanpa impedansi (solid grounding)
 2. Pentanahan melalui tahanan (resistance grounding).
 3. Pentanahan melalui kumparan Petersen
 4. Pentanahan melalui reaktansi (reactor grounding)
-



2.4.2 Pentanahan Peralatan

Pentanahan peralatan adalah pentanahan bagian dari peralatan yang pada kerja normalnya tidak dilalui arus. Bila terjadi hubung singkat suatu penghantar dengan suatu peralatan, maka akan terjadi beda potensial (Tegangan), yang dimaksud peralatan disini adalah bagian – bagian yang bersifat konduktif yang pada keadaan normal tidak bertegangan seperti bodi trafo, bodi PMS, bodi motor listrik, dudukan batere dan sebagainya. Bila seseorang berdiri ditanah dan memegang peralatan yang bertegangan, maka akan ada arus yang mengalir melalui tubuh orang tersebut yang dapat membahayakan. Untuk menghindari hal ini maka peralatan tersebut perlu ditanahkan. Peralatan merupakan hal yang sangat penting dan perlu diperhatikan, baik pada pembangunan gardu induk, pusat – pusat listrik, industri – industri bahkan rumah tinggal juga perlu dilengkapi dengan sistem pentanahan ini. Pentanahan peralatan umumnya menggunakan Pentanahan Rod dan Pentanahan Grid.^[3] Berikut contoh gambar pemasangan pentanahan pada transformator daya :



Gambar 2.3 Pemasangan Pentanahan Peralatan

2.4.2.1 Pentanahan Rod

Pentanahan rod yaitu sistem pentanahan yang menanamkan elektroda pentanahan tegak lurus terhadap permukaan tanah. Fungsinya hanya untuk mengurangi atau memperkecil resistansi pentanahan. Untuk



memperkecil resistansi pentanahan, maka jumlah dari penanaman batang elektroda pentanahan dapat diperbanyak. Hal ini dapat menguntungkan karena jika terjadi arus gangguan ke tanah maka arus tersebut bisa dialirkan dengan cepat ke dalam tanah.

Selain itu salah satu cara untuk memperkecil resistensi pentanahan ini bisa dilakukan dengan cara memparalelkan batang-batang elektroda yang ditanam, sehingga jika terjadi arus gangguan distribusi tegangan ke tanah atau bumi dialirkan secara merata antar elektroda satu dan yang lainnya. Penanaman batang elektroda tegak lurus terhadap permukaan tanah bisa berbentuk bujur sangkar atau empat persegi panjang dan jarak antar elektroda harus sama. Sedangkan konduktor penghubung antara batang-batang elektroda pentanahan terletak diatas permukaan tanah sehingga tidak diperhitungkan tahanannya atau tahanannya dapat diabaikan. Upaya pemasangan sistem pentanahan peralatan ini harus direncanakan sedemikian rupa agar besar resistansi pada pentanahan peralatan memenuhi ketentuan yang ada. Sistem ini adalah sama dengan driven ground yang digunakan pada menara transmisi. Untuk memperoleh harga tahanan yang lebih kecil maka dapat digunakan batang-batang elektroda yang lebih banyak yang ditanam paralel tegak lurus permukaan tanah. Makin pendek jarak antara elektroda dan makin banyak jumlah yang ditanam, maka makin kecil konduktivitasnya.^[8]

2.4.2.2 Pentanahan Grid

Pentanahan grid adalah sistem pentanahan dengan penanaman batang-batang elektroda sejajar dibawah permukaan tanah, batang-batang ini terhubung satu sama lain, hal ini bertujuan untuk meratakan tegangan yang mungkin akan timbul. Dengan cara ini bila jumlah elektroda yang ditanam sangat banyak, maka bentuknya mendekati bentuk pelat dan ini merupakan bentuk maksimum atau bentuk yang mempunyai harga resistansi paling kecil untuk luas daerah tertentu. Walaupun demikian pentanahan grid ini kurang efisien, selain pembuatan sistemnya rumit, biaya yang dibutuhkan juga sangat



banyak atau mahal. Karena itu perlu dicari bentuk yang sederhana dan murah tetapi tetap mempunyai harga resistansi pentanahan yang memenuhi persyaratan. (Sistem Pentanahan Transformator.2005)

Pada sistem ini banyaknya konduktor yang ditanam akan tidak sebanding dengan harga resistansinya karena fungsi konduktor itu sendiri sebenarnya adalah untuk menyalurkan arus gangguan kedalam tanah. Bila konduktor saling berdekatan, volume tanah tidak bisa menerima arus dari konduktor-konduktor tersebut. Dengan kata lain volume tanah mempunyai batasan kemampuan untuk menerima arus.

Pada pentanahan grid umumnya elektroda-elektroda pentanahan ditanam sejajar satu sama lainnya pada kedalaman beberapa puluh sentimeter didalam tanah. Untuk memperkecil harga resistansi pentanahannya harus dilakukan dengan cara memperluas daerah pentanahannya karena dengan cara ini lebih mudah bila dibandingkan dengan cara memperdalam penanaman konduktor.^[8]

2.5 Komponen – komponen Pentanahan

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

2.5.1 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 pembedaan 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 diatas yang perlu diperhatikan juga adalah sambungan antar penghantar penghubung dan elektroda pentanahan tersebut juga harus dilindungi dari korosi sehingga daya tahan untuk sistem pentanahannya bias lama dan terjamin.^[3]

2.5.2 Elektroda Pentanahan

Yang dimaksud dengan elektroda pentanahan adalah sebuah atau sekelompok penghantar yang ditanam dalam bumi dan mempunyai kontak yang erat dengan bumi dan meyertai 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 :

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

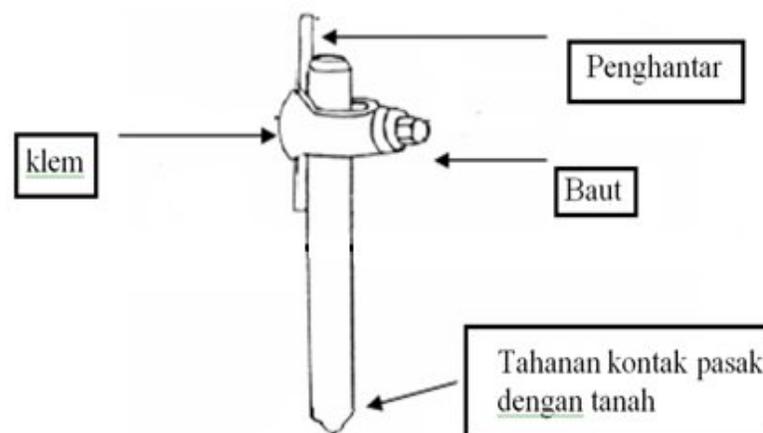
Pada umumnya elektroda – elektroda pentanahan ditanam sejajar satu sama lainnya untuk kedalaman beberapa puluh sentimeter didalam tanah.



Untuk itu ada beberapa macam elektroda pentanahan yang biasa dipakai seperti elektro batang, elektroda pita dan elektroda plat.

2.5.2.1 Elektroda Batang

Elektroda batang adalah elektroda dari batang besi, baja profil atau batang logam lainnya yang dipancarkan didalam tanah. Biasanya digunakan dari bahan – bahan tembaga, baja tahan karat (Stainless Steel) atau baja yang digalvanis (Galvanized Steel). Perlu diperhatikan pula dalam pemilihan bahan agar dihindarkan kopeling galvanis (Galvanic Couple) yang dapat menyebabkan korosi. Pemasangan elektroda batang dimasukkan tegak lurus kedalam tanah dan panjangnya disesuaikan dengan resistansi pbumian yang diperlukan. Resistansi pbumiannya sebagian besar tergantung pada panjangnya dan sedikit bergantung pada ukuran penampangnya. Jika beberapa elektroda diperlukan untuk memperoleh resistansi pbumian yang rendah, jarak antara elektroda tersebut minimum harus dua kali panjang elektrodanya. Elektroda batang yang digunakan ini harus digalvaniskan.^[3] Dibawah ini gambar macam bentuk elektroda batang.



Gambar 2.4 Elektroda Batang



Dimana nilai konstanta yang bergantung dari jumlah pasak. ^[7] Dapat dilihat pada tabel 2.5 sebagai berikut :

Tabel 2.5 Nilai Konstanta Suatu Elektroda Paralel^[7]

Jumlah pasak Sepanjang sisi segi empat	Jumlah pasak seluruhnya	Harga K
Segi empat	-	-
2	4	2.7071
3	8	4.2583
4	12	5.3939
5	16	6.0072
6	20	6.4633
7	24	6.8363
8	28	7.1479
9	32	7.4195
10	36	7.6551
Segi empat kosong	-	-
3	9	5.8917
4	16	8.5545
5	25	11.4371
6	36	14.0650
7	49	16.8933
8	64	19.5003

2.5.2.2 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 mendapipisan-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. ^[1]



Gambar 2.5 Elektroda Pita

2.5.2.3 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. ^[1]



Gambar 2.6 Cara Penanaman Elektroda Plat



2.5.2.4 Elektroda Pentanahan 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.^[6]

2.5.2.4.1 Jaringan Pipa Air Minum

Apabila jaringan pipa air minum dari logam dipakai sebagai elektroda pentanahan maka harus diperhatikan resistansi pembumiannya dapat menjadi besar akibat digunakannya pipa sambungan atau flens dari bahan isolasi. Jika pipa air minum dari logam dalam rumah atau gedung dipakai sebagai elektroda pentanahan, maka ujung pipa kedua sisi meteran air harus dihubungkan dengan pipa kedua sis meteran air harus dihubungkan dengan pipa tembaga yang berlapis timah dengan ukuran minimum 16 mm^2 atau dengan pita baja yang digalvanisasi dengan ukuran 25 mm^2 .^[6]

2.5.2.4.2 Selubung Logam Kabel

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

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



2.6 Pemilihan Elektroda Pentanahan

Untuk mendapatkan tahanan yang serendah mungkin, suatu elektroda pentanahan harus memenuhi persyaratan sebagai berikut :

1. Tahanan pentanahan harus memenuhi syarat yang diinginkan untuk suatu keperluan pemakaian
2. Elektroda yang ditanam dalam tanah harus :
 - Bahan konduktor yang baik
 - Tahan Korosi
 - Cukup kuat
3. Jangan sebagai sumber arus galvanis
4. Elektroda harus mempunyai kontak yang baik dengan tanah sekelilingnya
5. Tahanan pentanahan harus baik untuk berbagai musim dalam setahun
6. Biaya pemasangan serendah mungkin

Tahanan pentanahan suatu elektroda tergantung pada tiga faktor :

1. Tahanan elektroda itu sendiri dan penghantar yang menghubungkan ke peralatan yang ditanahkan.
2. Tahan kontak antara elektroda dengan tanah.
3. Tahanan dari massa tanah sekeliling elektroda.

Namun demikian pada prakteknya tahanan elektroda dapat diabaikan, akan tetapi tahanan kawat penghantar yang menghubungkan keperalatan akan mempunyai impedansi yang tinggi terhadap impuls frekuensi tinggi seperti misal pada saat terjadi lightningdischarge. Untuk menghindarinya, sambungan ini di usahakan dibuat sependek mungkin.^[4]

2.7 Bahan Dan Ukuran Elektroda

Sebagai bahan elektroda digunakan tembaga, atau baja yang digalvanisasi atau dilapisi tembaga sepanjang kondisi setempat tidak mengharuskan memakai bahan lain (misalnya pada perusahaan kimia). Ukuran minimum elektrode dapat dipilih menurut tabel 2.6 dengan memperhatikan pengaruh korosi dan KHA.^[6]

Tabel 2.6 Ukuran Minimum Elektroda Bumi^[6]

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

2.8 Tahanan Jenis Tanah

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

- Jenis tanah : tanah liat, berpasir, berbatu, dll
- Lapisan tanah : berlapis dengan tahanan jenis berlainan atau uniform
- Kelembaban tanah
- Temperatur

Harga tahanan jenis selalu bervariasi sesuai dengan keadaan pada saat pengukuran. Makin tinggi suhu makin tinggi tahanan jenisnya. Sebaliknya makin lembab tanah itu makin rendah tahanan jenisnya, sehingga tahanan jenis tanah dapat dirumuskan sebagai berikut :



$$R = \frac{\rho}{2\pi a} \left\{ \ln \left(\frac{4L}{a} - 1 \right) \right\} \quad (2.8)$$

Maka,

$$\rho = \frac{2\pi a R}{\ln \left(\frac{4L}{a} - 1 \right)} \quad (2.9)$$

- Dua batang elektroda pentanahan yang dipasang parallel :

$$\frac{\text{Tahanan 2 pasak paralel}}{\text{Tahanan pasak tunggal}} = \frac{1+x}{2}$$

- Tiga batang elektroda pentanahan yang dipasang parallel:

$$\frac{\text{Tahanan 3 pasak paralel}}{\text{Tahanan pasak tunggal}} = \frac{1+2x}{3}$$

- Batang parallel jamak yang tersusun dalam segi empat teris, apabila jumlah pasak adalah N, maka :

$$\frac{\text{Tahanan N pasak paralel}}{\text{Tahanan pasak tunggal}} = \frac{1+Kx}{N}$$

Dimana :

R = Tahanan pasak ke tanah (ohm)

a = Jari – jari elektroda batang (m)

L = Panjang pasak tanah (m)

ρ = Resistansi jenis tanah (ohm-m)

Secara umum harga – harga tahanan jenis ini diperlihatkan pada tabel berikut ini :

Tabel 2.7 Resistansi Jenis Tanah^[6]

No	Jenis Tanah	Tahanan jenis tanah (Ohm-Meter)
1	Tanah Rawa	30
2	Tanah liat dan tanah lading	100
3	Pasir basah	200
4	Kerikil basah	500
5	Pasir dan kerikil kering	1000
6	Tanah berbatu	3000

2.9 Nilai Tahanan

Nilai standar mengacu pada Persyaratan Umum Instalasi Listrik 2000 (peraturan yang sesuai dan berlaku hingga saat ini) yaitu kurang dari atau sama dengan 5 (lima) ohm. Dijelaskan bahwa nilai sebesar 5 ohm merupakan nilai maksimal atau batas tertinggi dari hasil resistansi pembumian (grounding) yang masih bisa ditoleransi. Nilai yang berada pada range 0 ohm - 5 ohm adalah nilai aman dari suatu instalasi pembumian grounding. Nilai tersebut berlaku untuk seluruh sistem dan instalasi yang terdapat pembumian (grounding) di dalamnya. Pada PUIL 2000 point 3.13.2.10 telah dijelaskan acuan nilai resistansi pembumian sebagai berikut, “Pada jaringan udara, selain di sumber dan di konsumen, penghantar PEN nya harus dibumikan paling sedikit di setiap ujung cabang yang panjangnya lebih dari 200 m. Demikian pula untuk instalasi pasang luar, penghantar PEN nya harus dibumikan. Resistansi pembumian total seluruh sistem tidak boleh lebih dari 5 Ohm.”^[6]

Pada pentanahan peralatan yang ada di suatu Gardu Induk milik PT.PLN, nilai resistansi yang harus dicapai dalam suatu penanaman pentanahan dengan sebuah elektroda perlu diusahakan harga tahanan pentanahan lebih kecil dari 1 ohm.^[2]



2.10 Pengaruh Ukuran Elektroda Terhadap Tahanan

Apabila elektroda atau pasak ditanam lebih kedalam tanah, maka tahanan akan berkurang. Secara umum dapat dikatakan dua kali lipat lebih dalam tahanan kurang 40% namun dengan bertambahnya diameter elektroda atau pasak secara material tidak mengurangi tahanan. Dua kali lipat diameter misalnya, hanya mengurangi besarnya tahanan kurang dari 10%.^[7]

2.11 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 factor kunci menentukan tahanan elektroda dan kedalaman beberapa elektroda atau pasak harus ditanam agar diperoleh tahanan yang rendah. Tahahanan sangat bervariasi diberbebagai tempatdan berubah tahanannya menurut iklim. Tahanan tanah ini ditentukan oleh kandungan elektolit didalamnya, kandungan air, mineral-mineral dan garam-garam.tanah yang kering mempunyai tahanan yang tinggi, tetepi tanah yang basah dapat juga mempunyai tahanan yang tinggi apabila tidak mengandung garam-garam yang dapat dilarut. Karena tahanan tanah berkaitan langsung deangan air dari suhu, maka dapat saja diansumsi bahwa tahanan pentanahan suatu sistem akan berubah sesuai perubahan iklim setiap tahunnya. Variasi-variasi tersebut dapat dilihat karena kandungan air dan suhu lebih stabil pada kedalaman yang lebih besar, maka agar dapat bekerja efektif sepanjang waktu, sistem pentanahan dapat dikonstruksikan dengan elektroda atau pasak tanah yang ditancapkan cukup dalam dibawah permukaan tanah. Hasil terbaik akan diperoleh apabila kedalaman elektroda atau pasak mencapai tingkat kandungan air tetap.^[7]

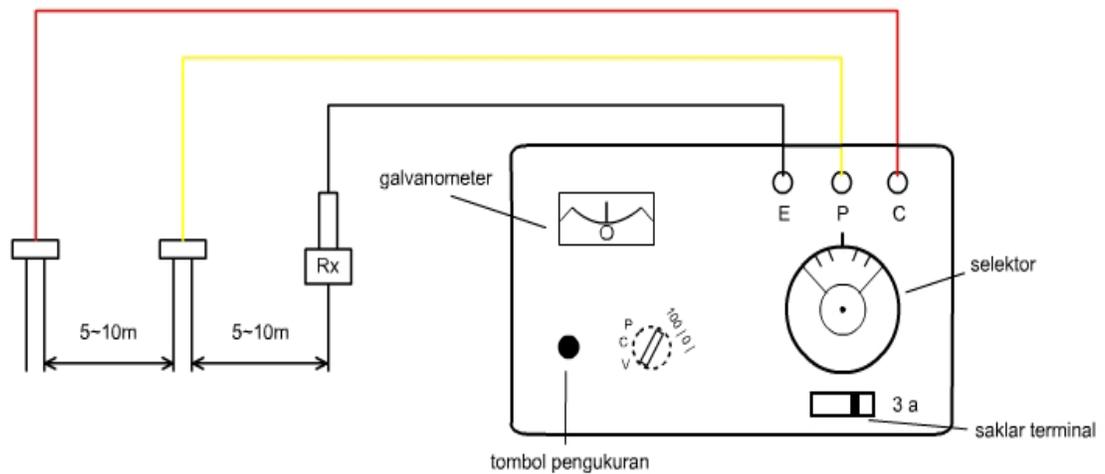


2.12 Pengukuran Tahanan Pentanahan (Earth Tester)

Ada berbagai instrument pengukur tahanan pentanahan, salah satu contohnya adalah *Earth Hi Tester*.

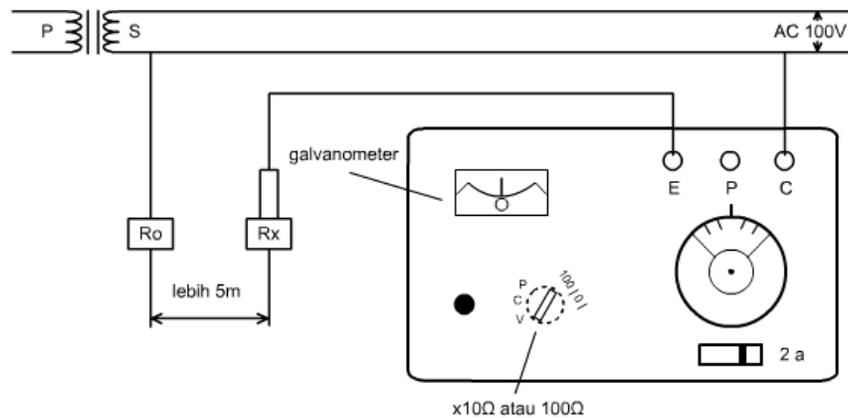
Pada instrument cara pengukuran ada dua macam yaitu :

- Pengukuran normal (metode 3 kutub)



Gambar 2.7 Pengukuran Metoda 3 Kutub

- Pengukuran praktis (metoda 2 kutub)



Gambar 2.8 Pengukuran Metoda 2 Kutub



Dalam setiap pengukuran diinginkan hasil pengukuran yang presisi. Apa artinya sebuah data jika tidak mendekati kebenaran. Salah satu faktor yang mempengaruhi ketelitian dalam pengukuran tahanan pentanahan ini adalah letak elektroda bantu yang digunakan dalam pengukuran.

Untuk mendapatkan hasil pengukuran yang presisi adalah dengan meletakkan elektroda bantu-arus Z cukup jauh dari elektroda yang diukur tahananannya, X , sehingga elektroda bantu-tegangan Y berada di luar daerah yang disebut daerah resistansi efektif dari kedua elektroda (elektroda pentanahan dan elektroda bantu-arus). Sebenarnya yang dimaksud dengan daerah resistansi efektif ini, dapat diperhatikan pada Gambar ^[1].
