



BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Umum

Memperhatikan masalah keamanan baik terhadap peralatan dan pekerjaan, maka diperlukan usaha untuk membuat suatu sistem keamanan yang bisa melindungi peralatan dan pekerjaan tersebut dari ancaman atau gangguan listrik yang terjadi. Salah satu sistem keamanan yang sangat penting terhadap peralatan dan pekerjaan adalah pada trafo di Gardu Induk. Pentanahan peralatan adalah pentanahan yang digunakan dengan cara menghubungkan body/kerangka terhadap *ground* (tanah). Fungsi utama pentanahan peralatan untuk mengalirkan arus listrik kedalam tanah melalui suatu elektroda tanah yang ditanam didalam tanah jika terjadi suatu gangguan. Disamping itu juga berfungsi untuk mencegah terjadinya tegangan kejut listrik yang berbahaya bagi manusia.

Oleh sebab itu, apabila resistansi pentanahan peralatan ternyata masih begitu besar, maka kondisi ini sangat tidak menguntungkan karena akan membahayakan personil yang sedang bekerja maupun peralatan yang sedang digunakan. Untuk mengurangi pengaruh perubahan resistansi tersebut, maka diperlukan perawatan secara rutin pada suatu sistem pentanahan agar harga tahanan pentanahan tetap sekecil mungkin. Dengan hasil perbandingan antara perhitungan dengan rumus dari data yang ada dapat diketahui nilai resistansi serta yang mempengaruhi besarnya resistansi pentanahan peralatan pada Transformator Daya di Gardu Induk Talang Ratu PT. PLN (Persero) Palembang. Dengan hasil analisa inilah dampak yang menyebabkan perubahan resistansi dapat dihindari atau minimal tetap berada pada batas yang ditentukan.

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.^[9]

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 dinaikkan lagi maka orang akan terasa sakit dan kalau terus dinaikkan 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]

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

Di mana :

$$k = \sqrt{K}$$

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

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

maka :

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

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

jadi :

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



$$I_k = \frac{0,116}{\sqrt{t}} \tag{2.1}$$

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]

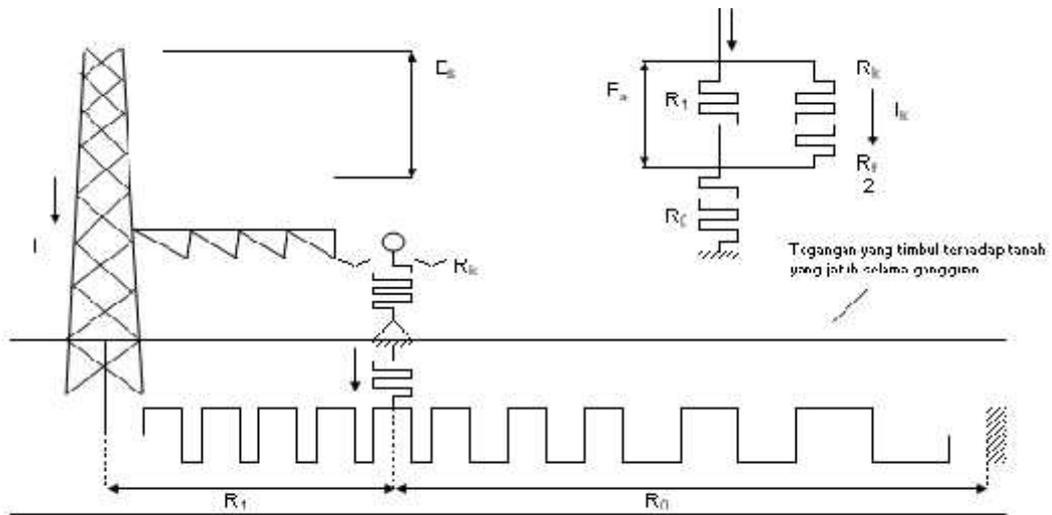
Tabel 2.2 Berbagai Harga Tahanan Tubuh Manusia^[3]

Peneliti	Tahanan (Ohm)	Keterangan
Dalziel	500	dengan tegangan 60 cps.
AIEE Committee	2.330	dengan tegangan 21 Volt.
Report 1958		tangan ke tangan $I_k = 9 \text{ mA}$.
	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 9.1.



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)

$$E_m = K_m K_i \rho \frac{I}{L} \quad (2.4)$$

Di mana :

$$K_m = \frac{1}{2\pi} \ln \frac{D^2}{16hd} + \frac{1}{\pi} \ln \left(\frac{3}{4} \times \frac{2n-2+1}{n-2+2} \right) \quad (2.5)$$

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
= 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.

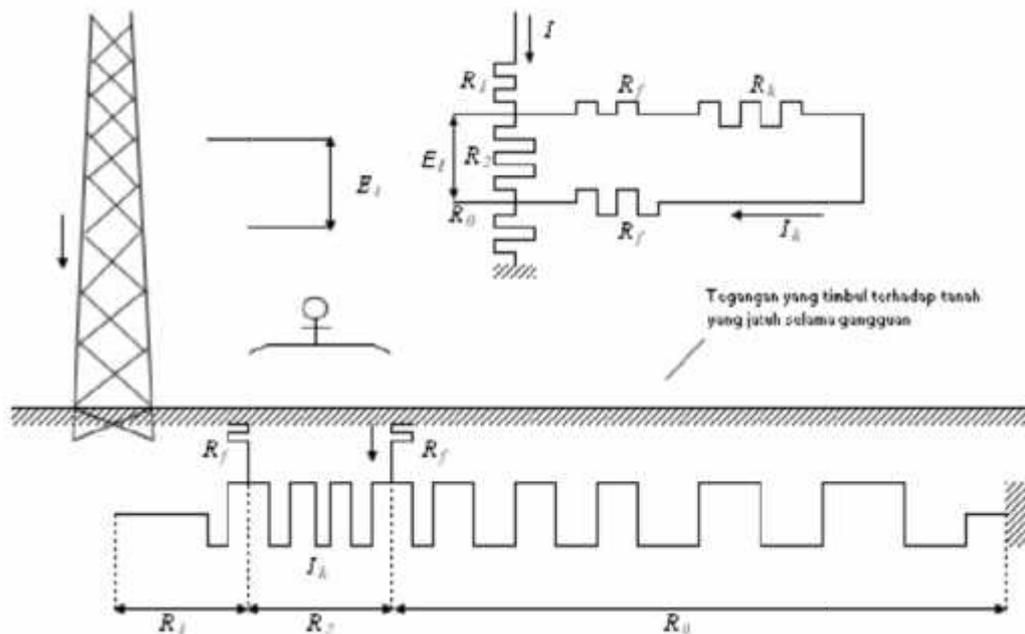
Tabel 2.3 Tegangan Sentuh Yang Diizinkan^[3]

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]



Gambar 2.2 Tegangan langkah dekat peralatan yang diketanahkan

Dengan menggunakan rangkaian pengganti dapat ditentukan tegangan langkah sebagai berikut :

$$E = (R_k + 2 R_f) \cdot I_k$$



$$= (1000 + 6 \rho_s) \times 0,116 / \sqrt{t}$$

$$E = \frac{116 + 0,696 \cdot \rho_s}{\sqrt{t}} \quad \text{atau} \quad E = I_k (R_k + 6 \rho_s) \quad (2.6)$$

Di mana :

- E = tegangan langkah (V)
 R_k = tahanan badan orang (Ohm) = 1000 Ohm
 R_f = tahanan kontak ke tanah dari satu kaki (Ohm) = $3 \rho_s$
 t = waktu kejut (detik)
 ρ_s = tahanan jenis tanah

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

$$E_m = K_s K_i \rho \frac{l}{L} \quad (2.7)$$

Dimana :

- = 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
 $K_s = \frac{1}{\pi} \left(\frac{1}{2h} + \frac{1}{D+h} + \frac{1}{2D} + \frac{1}{n-1 D} \right)$
 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 meyetuh 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,

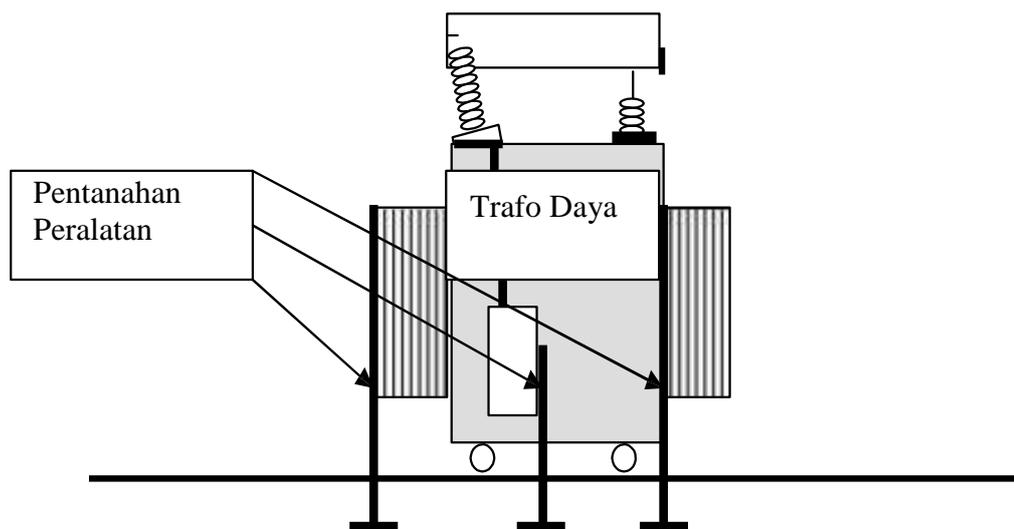
sehingga keandalan dan kontinuitas pelayanan dapat dijamin. Dengan dipasangnya sistem pentanahan ini, maka dapat diharapkan gangguan yang terjadi dapat dibatasi terjadi pada grup sistem yang bersangkutan saja.^[3]

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 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 dekat jarak antara elektroda dan makin banyak jumlah yang ditanam, maka makin kecil konduksitasnya.^[8]

2.4.2.2 Pentanahan Grid

Pentanahan ini mula-mula dimaksudkan untuk mengatasi perbedaan tegangan dipermukaan tanah apabila terjadi gangguan. Tetapi dari hasil penelitian, terbukti bentuk ini juga dapat digunakan sebagai pentanahan utama, bahkan mempunyai beberapa kelebihan dari pentanahan sistem lama. Caranya ialah dengan menanam batang elektroda sejajar dengan tanah. Untuk mengecilkan tahanan pentanahan suatu area tertentu, kita tidak dapat dengan terus menerus menambah batang elektroda pentanahan, hal ini karena volume tanah terbatas kemampuannya untuk menerima arus. Pentanahan grid yang paling sederhana ialah dengan menanamkan sebuah konduktor beberapa kali di bawah permukaan tanah. Bayangan konduktor ini terhadap permukaan tanah dapat dianggap sebagai batang konduktor lain.^[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 pembumian sehingga penempatan sambungan tersebut harus pada tempat mudah dicapai. Sambungan hantaran penghubung ini dengan elektroda harus kuat secara mekanis dan menjamin hubungan listrik dengan baik misalnya dengan menggunakan penyambungan las, klem, atau baut kunci yang mudah lepas. Klem pada elektroda harus menggunakan baut dengan diameter minimal 10 mm². Selain faktor 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



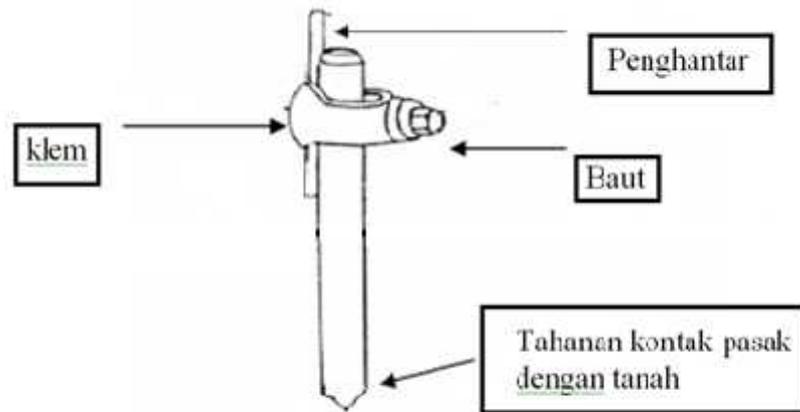
logam, batang konduktor, pipa air minum dari tulang besi beton pada tiang pancang. Untuk mendapatkan harga resistansi pentanahan yang serendah mungkin harus memenuhi beberapa persyaratan antara lain :

1. Resistansi elektroda pentanahan harus lebih kecil dari pada harga yang direkomendasikan.
2. Elektroda pentanahan harus mampu dialiri oleh arus hubung singkat yang 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
---	----------------------------	---------

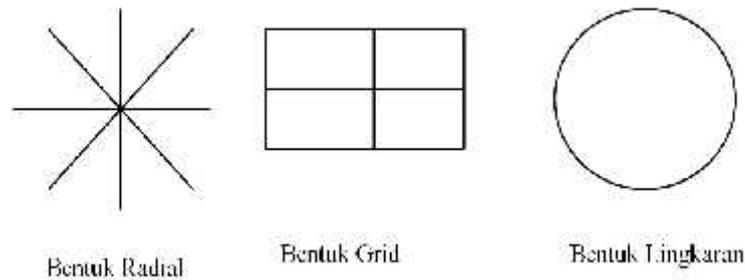


Segi empat	-	-
2	4	2.7071
3	8	4.2583
4	12	5.3939
5	16	6.0072
6	20	6.4633
7	24	6.8363
8	28	7.1479
9	32	7.4195
10	36	7.6551
Segi empat kosong	-	-
3	9	5.8917
4	16	8.5545
5	25	11.4371
6	36	14.0650
7	49	16.8933
8	64	19.5003

2.5.2.2 Elektroda Pita

Elektroda pita adalah elektroda yang dibuat dari penghantar berbentuk pita atau kawat berpenampang bulat yang ditanam didalam tanah secara dangkal. Pada prakteknya untuk penanaman makin dalam akan didapati kandungan air yang lebih besar sehingga akan diperoleh resistansi pentanahan yang kecil. Penanaman lebih dalam akan menyebabkan pula resistansi pentanahan lebih stabil dan lebih aman terhadap kerusakan yang mungkin terjadi.

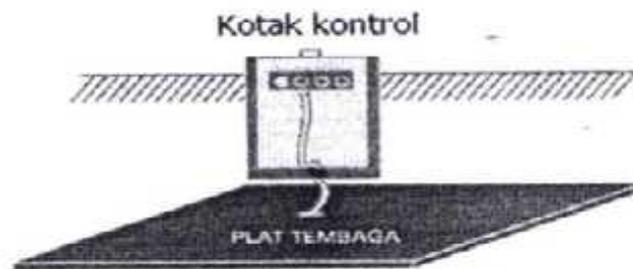
Elektroda pita ini dapat ditanam sebagai pita lurus, radial, melingkar dan jala – jala atau kombinasi. Biasanya ditanam sejajar permukaan tanah dengan kedalaman antara 0.5 – 1 m. Berikut ini adalah gambar elektroda pita.^[1]



Gambar 2.5 Elektroda Pita

2.5.2.3 Elektroda Plat

Elektroda plat adalah elektroda dari bahan logam utuh atau berlubang, pada umumnya ditanam didalam bumi. Elektroda plat ini ditanam tegak lurus didalam tanah. Luas plat yang digunakan tergantung pada resistansi pembedaan yang diperlukan. Pada umumnya cukup menggunakan plat berukuran 1 m x 0.5 m dan sisi plat harus terletak minimum 1 meter dibawah permukaan tanah. Untuk mendapatkan resistansi pentanahan yang lebih rendah elektroda – elektroda plat dihubungkan paralel, maka jarak antara plat – plat ini harus sekurang – kurangnya 3 meter. Untuk mendapatkan harga resistansi pentanahan yang sama, maka elektroda yang dibutuhkan lebih banyak lagi. Hasil penanaman elektroda plat secara horizontal tidak berbeda jauh dengan penanaman vertikal, tetapi penanaman secara vertikal lebih praktis dan ekonomis.^[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 sisi 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 :

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

Maka,



$$\rho = \frac{R \cdot 2 \cdot \pi \cdot L}{\ln \frac{4L}{a} - 1}$$

(2.9)

Dimana :

R = Tahanan pasak ke tanah (ohm)

a = Jari – jari elektroda batang (m)

L = Panjang pasak tanah (m)

= 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. Resistans pembumian total seluruh sistem tidak boleh lebih dari 5 Ohm.”^[6]

Untuk standar nilai resistan pembumian pada bidang penangkal petir, menggunakan referensi peraturan yang berbeda. Tetapi untuk ketentuan standar nilai resistan pembumian sama dengan referensi peraturan pada PUIL 2000, ketentuan yang hampir sama inilah yang menjadikan masing - masing peraturan akan saling berkaitan dalam memberikan solusi dan penjelasan untuk suatu permasalahan. Dengan diperkuat dengan banyak referensi di atas menjadikan standarisasi lebih kuat dan menjadikannya suatu keharusan. Berikut referensi untuk standar nilai resistan pembumian yang bersumber dari Peraturan Menteri Tenaga Kerja PER02/MEN/1989, tentang pengawasan instalasi penyalur petir, terdapat pada Pasal 54 ayat 1 berbunyi “Tahanan pembumian dan seluruh sistem pembumian tidak boleh lebih dari 5 Ohm”.^[5]

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. Tahanan sangat bervariasi di berbagai tempat dan berubah-ubah 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 dilarutkan. Karena tahanan tanah berkaitan langsung dengan air dan suhu, maka dapat 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 tetap.^[7]