



BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Sistem Pentanahan¹

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

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

Pentanahan tidak terbatas pada sistem tenaga saja, namun mencakup juga sistem peralatan elektronik, seperti telekomunikasi, komputer, kontrol dimana diterapkan komunikasi data secara intensif dan sangat peka terhadap gelombang elektromagnet dari luar. Pentanahan disini lebih dititik beratkan pada keterjaminan sinyal dan benarnya.

Adapun syarat-syarat agar sistem pentanahan dapat bekerja secara efektif, sistem pentanahan harus memenuhi persyaratan-persyaratan sebagai berikut:²

1. Membuat jalur impedansi yang rendah ketanah untuk pengamanan personil dan peralatan, menggunakan rangkaian yang efektif.
2. Dapat melawan dan buta akibat gangguan surja hubung.

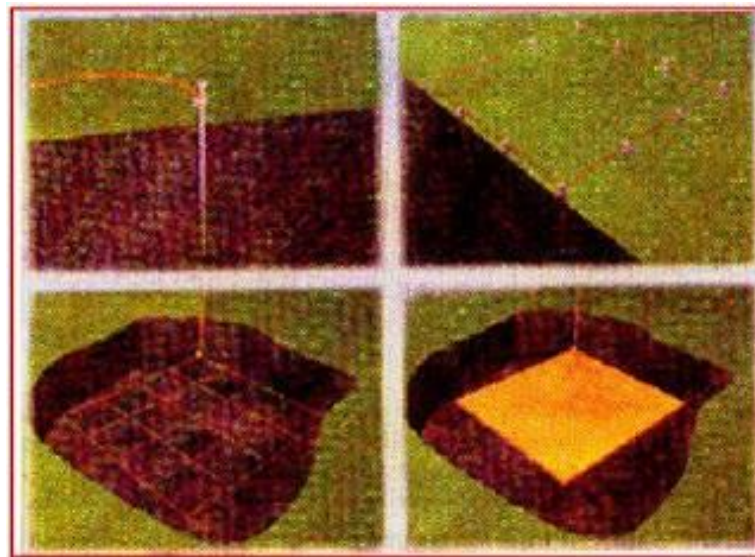
¹ Prih Sumardjati, dkk, 2005, *Teknik Pemanfaatan Tenaga Listrik Jilid 1*, (Jakarta: Direktorat Pembinaan Sekolah Menengah Kejuruan), halaman 159.

² As Pabla & Ir. Abdul Hadi, 1991, *Sistem Distribusi Tenaga Listrik*, (Jakarta: Erlangga), halaman 154.

3. Menggunakan bahan tahan korosi terhadap berbagai kondisi kimiawi tanah, untuk meyakinkan kontinuitas penampilannya sepanjang umur peralatan yang dilindungi atau diamankan.
4. Menggunakan sistem mekanik yang kuat namun mudah dalam pelayanan.

2.2 Pentanahan dan Tahanan Pentanahan

Secara teoritis, tahanan dari tanah atau bumi adalah nol karena luas penampang bumi tak terhingga. Tapi kenyataannya tidak demikian, artinya tahanan pentanahan nilainya tidak nol. Hal ini terutama disebabkan oleh adanya tahanan kotak antara alat pentanahan dengan tanah dimana alat tersebut dipasang di dalam tanah. Alat untuk melakukan pentanahan ditunjukkan oleh gambar 2.1.



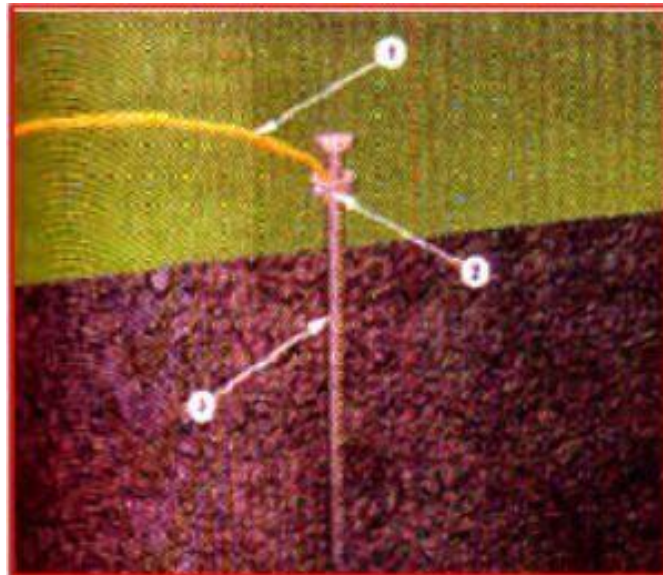
Gambar 2.1 Macam-macam alat pentanahan

Dari gambar 2.1 tampak bahwa ada empat alat pentanahan, yaitu:

- 2.1.a Batang pentanahan tunggal.
- 2.1.b Batang pentanahan ganda, terdiri dari beberapa batang tunggal yang dibuat paralel.
- 2.1.c Pelat pentanahan (pelat pentanahan), yaitu pelat tembaga.

Tahanan pentanahan selain ditimbulkan oleh tahanan kontak tersebut diatas juga ditimbulkan oleh tahanan sambungan antara alat pentanahan dengan kawat

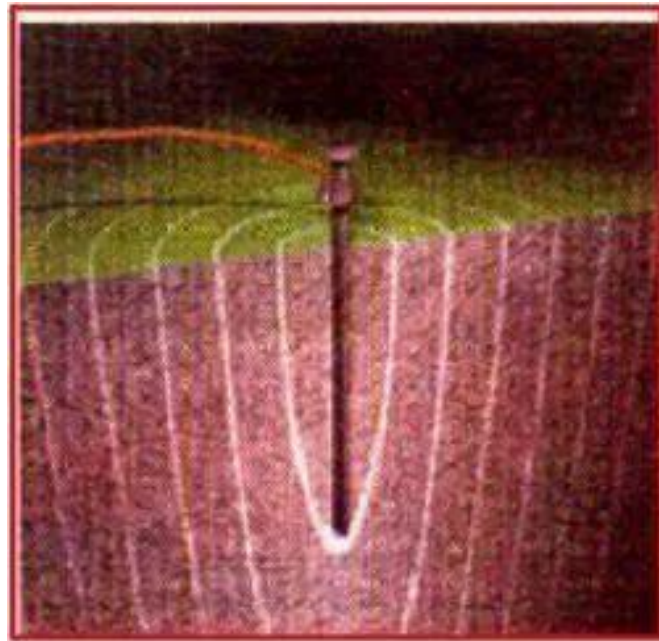
penghubungnya. Unsur lain yang menjadi bagian dari tahanan pentanahan adalah tahanan dari tanah yang ada di sekitar alat pentanahan yang menghambat aliran muatan listrik yang keluar dari alat pentanahan tersebut. Arus listrik yang keluar dari alat pentanahan ini menghadapi bagian-bagian tanah yang berbeda tahanan jenisnya. Untuk jenis tanah yang sama, tahanan jenisnya dapat diandalkan oleh kedalamannya. Makin dalam letaknya, umumnya makin kecil tahanan jenisnya, karena komposisinya makin padat dan umumnya juga lebih basah. Oleh karena itu, dalam memasang batang pentanahan, makin dalam pemasangannya akan makin baik hasilnya dalam arti akan didapat tahanan pentanahan yang makin rendah.



Gambar 2.2 Batang pentanahan beserta aksesorisnya

Keterangan:

- 1) Konduktor tanah
- 2) Penghubung antara konduktor dengan elektroda tanah, dan
- 3) Elektroda tanah



Gambar 2.3 Batang pentanahan dan lingkaran pengaruhnya

2.3 Tujuan Pentanahan

Secara umum, tujuan sistem pentanahan adalah:

1. Menjamin keselamatan orang dari sengatan listrik baik dalam keadaan normal atau tidak dari tegangan sentuh dan tegangan langkah.
2. Menjamin kerja peralatan listrik atau elektronik.
3. Mencegah kerusakan peralatan listrik atau elektronik.
4. Menyalurkan energi sambaran petir ke tanah.
5. Menstabilkan tegangan dan kejadian kejadian flashover ketika terjadi *transient*.
6. Mengalihkan energi radio frekuensi liar dari peralatan-peralatan seperti: *audio*, video, kontrol, dan komputer.

Pengetanahan peralatan berlainan dengan pengetanahan sistem, yaitu pengetanahan bagian dari peralatan yang pada kerja tidak dilalui arus. Tujuan dari pengetanahan peralatan tersebut adalah:³

³ T.S. Hutaaruk, 1991, *Pengentanahan Netral Sistem Tenaga & Pengentanahan Netral*, (Jakarta: Erlangga), halaman 125



1. Untuk membatasi tegangan antara bagian-bagian peralatan yang tidak dilalui arus dan antara bagian-bagian ini dengan tanah sampai pada suatu harga yang aman untuk semua kondisi operasi normal atau tidak normal. Untuk mencapai tujuan ini, suatu sistem pengentanan peralatan atau instalasi dibutuhkan. Sistem pengetanahan ini gunanya adalah 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 bahaya pada setiap waktu. Dengan dicapainya potensial yang hampir merata pada semua titik dalam daerah sistem pengetanahan ini, kemungkinan timbulnya perbedaan potensial yang besar pada jarak yang dapat dicapai oleh manusia sewaktu terjadi hubung singkat kawat ketanah menjadi sangat kecil.
2. Tujuan kedua dari pengetan peralatan ini adalah untuk memperoleh impedansi yang kecil atau rendah dari jalan balik arus hubung singkat ke tanah. Kecelakaan individu manusia dan hewan yang terjadi pada saat terjadinya hubung singkat ke tanah. 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 pada rangkaian pengetanahan dapat menimbulkan busur listrik dan pemanasan yang besarnya cukup menyalakan material yang mudah terbakar.

Secara singkat tujuan pentanahan itu dapat diformulasikan sebagai berikut:

- a) Mencegah terjadinya tegangan kejutan 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.



2.4 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. Macam-macam sistem yang diketanahkan antara lain:

2.4.1 Titik Netral Diketanahkan Tanpa Impedansi

Pada sistem-sistem yang diketanahkan tanpa impedansi, bila terjadi gangguan tanah, selalu mengakibatkan terganggunya saluran, yaitu gangguan itu harus diisolir dengan membuka pemutus daya. Salah satu tujuan dengan menentanahkan titik netral secara langsung ialah untuk membatasi tegangan dari fasa-fasa yang tidak terganggu bila terjadi gangguan kawat tanah.

2.4.2 Titik Netral Diketanahkan Melalui Reaktansi

Yaitu menghubungkan titik netral trafo tenaga ketanah dengan suatu reaktansi yang besarnya tertentu. ($X_0 \leq 10X_1$). Dilihat dari besarnya perbandingan X_0 dan X_1 sistem pentanahan ini terletak antara pentanahan efektif dan sistem yang ditanahkan dengan kumparan *Petersen*.

2.4.3 Titik Netral Diketanahkan Melalui Tahanan

Yaitu pentanahan titik netral trafo daya dihubungkan ketanah dengan suatu tahanan tertentu. Adapun syarat tahanan sebagai berikut:

1. Untuk tahanan rendah dengan syarat : $R_0 \geq 2X_0$(2.1)

2. Untuk tahanan tinggi dengan syarat : $R_0 \leq \frac{X_{c0}}{3}$ (2.2)

2.4.4 Titik Netral Tidak Diketanahkan dan Titik Netral Diketanahkan dengan Kumparan *Petersen*

Istilah titik netral tidak diketanahkan itu sebenarnya meragukan. Hal ini membayangkan seolah-olah X_0 tak terhingga. Tetapi pada suatu sistem yang tidak diketanahkan kombinasi reaktansi-reaktansi urutan nol diberikan oleh kapasitansi per-fasa terhadap tanah. Jadi X_0 mempunyai harga negatif yang sangat besar.

Pentanahan dengan Kumparan *Petersen*, yaitu menghubungkan titik netral trafo daya dengan suatu tahanan yang nilainya dapat berubah-ubah. Merupakan pengentanahan dengan reaktor yang impedansinya dapat diubah-ubah.

2.4.5 Titik Netral Diketanahkan secara Efektif

Suatu sistem atau sebagian dari sistem dikatakan diketanahkan secara efektif apabila untuk tiap-tiap pada sistem itu atau untuk sebagian tertentu dari sistem itu diperoleh harga-harga $\frac{X_0}{X_1} \leq 3$ dan $\frac{R_0}{X_1} \leq 1$ untuk setiap macam keadaan kerja dari sistem itu.

Jadi bila seluruh sistem itu tidak efektif diketanahkan, bagian tertentu dari sistem itu dapat dikatakan diketanahkan efektif bila memnuhi ketentuan-ketentuan diatas. Jadi pengentanahan tanpa impedansi dan pengetanahan dengan reaktansi yang rendah dapat termasuk pengentanahan efektif.

Arti dari simbol-simbol diatas adalah sebagai berikut:

R_0 = Tahanan ekivalen urutan nol sistem

X_0 = Reaktansi ekivalen urutan nol sistem

X_1 = Reaktansi ekivalen urutan positif sistem

X_{co} = Reaktansi kapasitif urutan nol sistem

2.4.6 Sistem Pentanahan Peralatan

Sistem pentanahan pada peralatan yaitu penghubungan antara bagian-bagain 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 harga yang aman untuk semua kondisi operasi baik kondisi normal maupun saat terjadi gangguan. Sistem pentanahan ini berguna untuk memperoleh impedansi yang rendah sebagai jalan balik arus hubung singkat ke tanah.

2.4.7 Pentanahan Bagian Konduktor Terbuka

Untuk menghindari timbulnya kerusakan atau kerugian akibat sambaran petir, maka diadakan usaha pemasangan instalasi penangkal petir pada bangunan-bangunan. Sambaran petir ini akan mengakibatkan kerusakan langsung pada objek yang tersambar. Dengan adanya instalasi penangkal petir ini, maka sambaran petir dapat dikendalikan melalui instalasi penangkal petir yang diteruskan ke bumi. Bahaya yang dapat ditimbulkan dari penyaluran arus petir ini kebumi adalah timbulnya *flashover* pada saluran hantaran penurunan serta gradien tegangan di sekitar elektroda bumi.

2.5 Tahanan Jenis Tanah⁴

Faktor keseimbangan antara tahanan pentanahan dan kapasitansi di sekelilingnya adalah tahanan jenis tanah yang direpresentasikan dengan ρ . Harga tahanan jenis tanah pada daerah kedalaman yang terbatas tergantung dari beberapa faktor yaitu:

1. Jenis tanah : tanah liat, berbatu, dan lain-lain.
2. Lapisan tanah : berlapis-lapis dengan tahanan jenis berlainan atau seragam.
3. Kelembaban tanah.
4. Temperatur.

Tahanan jenis tanah bervariasi dari 500 sampai 50.000 ohm per cm, kadang-kadang harga ini dinyatakan dengan harga ohm per cm³. Pernyataan ohm per cm memrepresentasikan tahanan antara dua permukaan yang berlawanan dari suatu volume tanah berisi 1 cm³.

Untuk mengubah komposisi kimia tanah dapat dilakukan dengan memberikan garam pada tanah dekat elektroda pentanahan dengan maksud mendapatkan tahanan jenis tanah yang rendah. Cara ini hanya baik untuk sementara sebab penggantian harus dilakukan secara periodik, sedikitnya 6 bulan sekali.

⁴ Aslimeri, dkk, 2008, *Teknik Transmisi Tenaga Listrik Jilid 2* (Jakarta: Direktorat Pembinaan Sekolah Menengah Kejuruan). Halaman 262

Harga tahanan jenis tanah pada kedalaman yang terbatas sangatlah tergantung dengan keadaan cuaca. Untuk mendapatkan tahanan jenis tanah rata-rata, maka diperlukan suatu perencanaan maka diperlukan penyelidikan atau pengukuran dalam jangka waktu yang tertentu misalnya selama 1 (satu) tahun. Biasanya tahanan jenis tanah juga tergantung dari permukaan air yang konstan.

Untuk mengurangi variasi tahanan jenis tanah akibat pengaruh musim, pentanahan dapat dilakukan dengan menanamkan elektroda pentanahan mencapai kedalaman dimana terdapat udara yang konstan.

Penanaman memungkinkan kelembaban dan temperatur bervariasi, harga tahanan jenis tanah harus diambil pada keadaan yang paling buruk, yaitu tanah kering dan dingin. Untuk melihat gambaran mengenai besarnya tahanan jenis tanah untuk bermacam-macam jenis tanah dapat dilihat pada tabel dibawah ini:

Tabel 2.1 Tahanan Jenis Tanah⁵

Catatan: Nilai tahanan jenis dalam **Tabel 2.1.** adalah nilai tipikal

Jenis Tanah	Tahanan Jenis (Ohm)
Sawah, Rawa	30
Tanah Liat dan Tanah Ladang	100
Pasir Basah	200
Kerikil Basah	500
Pasir dan Kerikil Kering	1000
Tanah Berbatu	3000

2.6 Arus Melalui Tubuh Manusia

Kemampuan tubuh manusia terbatas terhadap arus yang mengalir didalamnya. Tetapi yang besar dan arus yang masih dapat memperlihatkan oleh tubuh manusia sampai batas yang belum sukar ditetapkan. Hal ini telah banyak diselidiki oleh para ahli dengan berbagai macam percobaan baik dengan tubuh manusia maupun dengan

⁵ Persyaratan Umum Instalasi Listrik 2000, halaman 80.



menggunakan binatang tertentu. Dalam batas tertentu dimana sangat banyak arus belum berbahaya terhadap organ tubuh manusia yang berbadan sehat. Batas-batas arus tersebut dibagi sebagai berikut:

2.6.1 Arus Persepsi

Bila orang memegang penghantar yang diberi tegangan mulai dari harga nol dan dinaikkan sedikit demi sedikit, arus listrik yang melalui tubuh manusia 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 panas pada telapak tangan.

Pada *Electrical Testing Laboratory New York* tahun 1933 telah dilakukan pengujian terhadap 40 orang laki-laki dan perempuan, dan didapati arus rata-rata yang disebut *threshold of perception current* sebagai berikut:

- Untuk laki-laki = 1,1 mA
- Untuk perempuan = 0,7 mA

2.6.2 Arus Mempengaruhi Otot

Bila tegangan yang menyebabkan terjadinya tingkat arus persepsi dinaikkan lagi maka orang akan merasa sakit dan jika terus dinaikkan maka otot-otot akan 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 memperoleh angka rata-rata dari arus yang mempengaruhi otot adalah sebagai berikut:

- Untuk laki-laki = 16 mA
- Untuk perempuan = 10,5 mA

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

- Untuk laki-laki = 9 mA
- Untuk perempuan = 6 mA



2.6.3 Arus Fibriasi

Apabila arus yang melewati tubuh manusia lebih besar dari arus yang mempengaruhi otot dapat mengakibatkan orang pingsan bahkan sampai mati. Hal ini disebabkan arus listrik yang mempengaruhi jantung yang disebut *vebtricular 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.

University of California oleh *Dalziel* pada tahun 1968, dengan menggunakan binatang yang mempunyai badan dan jantung kira-kira sama dengan manusia. Dari percobaan tersebut *Daziel* menarik kesimpulan bahwa 99,5% dari semua orang yang beratnya lebih kurang 50 kg masih dapat bertahan terhadap besar arus dan waktu yang ditentukan oleh persamaan sebagai berikut:

$$Ik^2 \cdot t = K \text{ atau } Ik = \frac{k}{\sqrt{t}} \dots\dots\dots(2.3)$$

Dimana :

$$K = \sqrt{K}$$

K = 0,0135 untuk manusia dengan berat 50 kg

= 0,0125 untuk manusia dengan berat 70 kg

Maka :

$$K50 = 0,116 \text{ Ampere}$$

$$K70 = 0,157 \text{ Ampere}$$

Jadi, $Ik^2 \cdot t = 0,0135$ untuk berat 50 kg

$$Ik = \frac{0,116}{\sqrt{t}} \dots\dots\dots(2.4)$$

Dimana :

Ik = Besarnya arus lewat tubuh manusia (Ampere)

t = Waktu arus lewat tubuh manusia atau lama gangguan tanah

Tabel 2.2 Pengaruh Arus Listrik terhadap Manusia

Arus Listrik (mA)	Pengaruh terhadap Manusia
0,1 – 0,5	Organ jantung tidak terpengaruh sama sekali bahkan dalam jangka waktu lama
0,5 – 10	Organ jantung bereaksi dan rasa kesemutan muncul dipermukaan kulit. Diatas 10mA sampai 200mA jantung tahan sampai jangka waktu maksimal 2 detik saja.
200 – 500	Organ jantung merasakan sengatan kuat dan terasa sakit. Jika melewati 0,5 detik maka termasuk area yang berbahaya
>500	Organ jantung akan rusak dan secara permanen dapat merusak sistem peredaran darah bahkan berakibat kematian

Maka batas kekuatan manusia menahan setrum adalah 200mA dalam waktu 2 detik saja. Karena itu dapat dipahami, jika kita kesetrum dengan tegangan 220V maka aliran listrik yang melewati tubuh akan berbahaya.

2.6.4 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 alat yang sedang dipegang yang dapat mengenai bagian-bagian instalasi tegangan tinggi sehingga terjadi kecelakaan yang lebih fatal.

2.7 Tahanan Tubuh Manusia

Tahanan tubuh manusia berkisar 500 ohm sampai dengan 100.000 ohm tergantung dari tegangan, keadaan kulit pada tempat kontak dan jalannya arus tubuh manusia. Kulit yang memiliki lapisan tahanan yang tinggi, tetapi terhadap tegangan tinggi kulit yang mengenakan konduktor langsung terbakar, maka tahanan kulit ini

tidak berarti apa-apa. Jadi hanya tahanan tubuh manusia yang dapat membatasi arus.

2.8 Elektroda Pentanahan

Dalam sistem pentanahan sangat diperlukan elektroda pentanahan, yang mana macam dan bentuk elektroda yang digunakan dipilih sedemikian rupa sehingga tahanan pentanahan yang dihasilkan lebih kecil daripada yang diperbolehkan atau diizinkan. Untuk mendapatkan tahanan pentanahan yang serendah mungkin memiliki beberapa persyaratan elektroda yang harus dipatuhi adalah:

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

Bahan konduktor merupakan bahan yang digunakan sebagai elektroda pentanahan, berdasarkan ketentuan maka bahan tersebut adalah besi, aluminium dan tembaga. Dari ketiga jenis bahan tersebut ditinjau dari sifat mekanis, listrik, dan kimiawi maka tembaga mempunyai keunggulan yang lebih tinggi dibandingkan dengan bahan yang lain, namun ditinjau dari segi biaya tembaga lebih mahal, tetapi mengingat kesulitan yang timbul bila elektroda tersebut mengalami kerusakan baik karena pengaruh listrik, mekanis dan kimiawi maka tembaga lebih unggul.

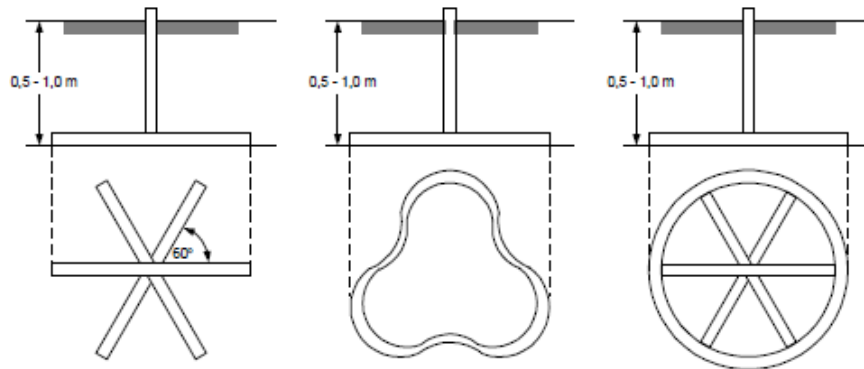
Pada umumnya elektroda-elektroda pentanahan ditanam sejajar satu sama lainnya, dalam beberapa puluh sentimeter ke dalam tanah. Untuk memperkecil harga tahanan pentanahannya memperluas daerah pentanahan karena cara ini lebih mudah dibandingkan dengan cara memperdalam konduktor.

2.8.1 Macam-macam Elektroda Pentanahan

2.8.1.1 Berbentuk Pita

Yaitu elektroda yang dibuat dari penghantar berbentuk pita atau berpenampang bulat, atau penghantar pilin yang umumnya ditanam secara dangkal.

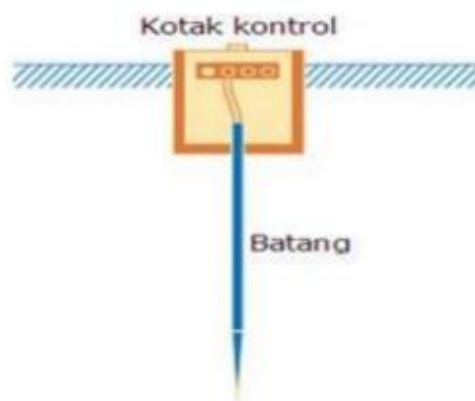
Elektroda ini dapat ditanam sebagai pita lurus, radial, melingkar, jala-jala atau kombinasi dari bentuk tersebut seperti gambar yang ditanam sejajar dengan permukaan tanah dengan kedalaman antara 0,5-1,0 m.



Gambar 2.4 Elektroda Bentuk Pita

2.8.1.2 Berbentuk Batang

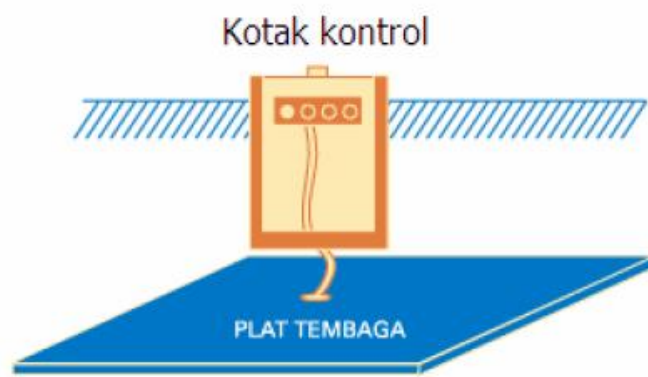
Yaitu elektroda bentuk batang yang terbuat dari pipa atau profil yang ditancapkan ke dalam tanah. Elektroda ini merupakan elektroda yang pertama kali digunakan dan teori-teori berawal dari elektroda jenis ini. Elektroda ini banyak digunakan di gradu-gardu induk. Secara teknis, elektroda batang ini mudah pemasangannya, yaitu tunggal memancangkannya ke dalam tanah. Disamping itu, elektroda ini tidak memerlukan tanah yang luas. Seperti ditunjukkan pada gambar 2.7 di bawah ini:



Gambar 2.5 Elektroda Batang

2.8.1.3 Berbentuk Plat

Yaitu elektroda tanah berbentuk plat yang terbuat dari sebuah plat yang ditanam dengan permukaan ± 1 m dengan tebal 3 mm. Plat ini ditanam tegak lurus dengan tanah. Sisi plat bagian atas paling sedikit harus 1 meter di bawah permukaan tanah. Semakin banyak jumlah plat yang diparalelkan dalam pentanahan tersebut, maka makin kecil tahanan pentanahan itu dan plat yang terpasang itu jaraknya satu sama lain paling sedikit 3 meter. Yang ditunjukkan pada gambar 2.8 di bawah ini:



Gambar 2.6 Elektroda Plat

2.8.2 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 penanganan serendah mungkin

2.8.3 Sifat-sifat dari Sebuah Sistem Elektroda Tanah

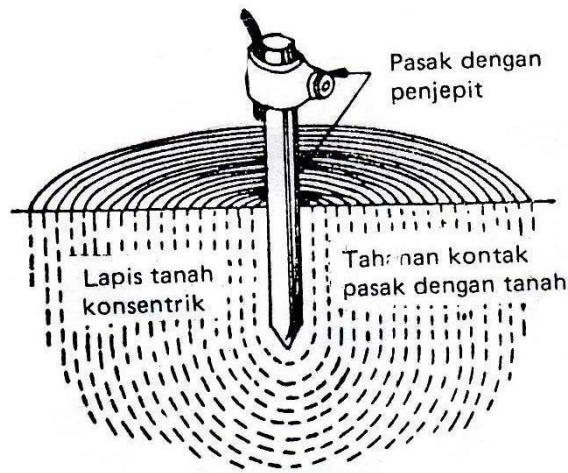
Hambatan arus melewati system elektroda tanah mempunyai 3 (tiga) komponen yaitu:

1. Tahanan pasaknya sendiri dan sambungan-sambungannya
2. Tahanan kontak antara pasak dengan tanah sekitar
3. Tahanan tanah sekelilingnya

Pasak-pasak tanah, batang-batang logam, struktur dan peralatan lain biasanya digunakan untuk elektroda tanah. Elektroda-elektroda ini umumnya besar dan penampangnya sedemikian.

Tahanan antar 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 tahanan kontak dapat diabaikan.

Pasak dengan tahanan seragam yang ditanam ke tanah menghantarkan arus ke semua jurusan. Ketika suatu elektroda atau pasak yang ditanam di tanah yang terdiri atas lapisan-lapisan tanah dengan ketebalan yang sama, lapisan tanah terdekat dengan elektroda atau pasak dengan sendirinya memiliki permukaan paling sempit sehingga memberikan tahanan terbesar. Lapisan berikutnya, karena lebih luas memberikan tahanan yang lebih kecil dan seterusnya, sehingga pada suatu jarak sekeliling elektroda atau pasak jarak ini disebut daerah tahanan efektif yang sangat tergantung pada kedalaman elektroda atau pasak. Dari ke 3 (tiga) macam komponen, tahanan tanah merupakan besaran paling kritis dan paling sulit dihitung ataupun diatasi.



Gambar 2.7 Komponen-komponen Tahanan Elektroda

Besarnya tahanan pentanahan tergantung dari beberapa faktor, yaitu:

1. Bentuk elektroda
2. Jenis bahan dan ukuran elektroda
3. Jumlah atau konfigurasi elektroda
4. Kedalaman penanaman di dalam tanah
5. Jenis tanah sekeliling elektroda

2.8.4 Menghitung Tahanan Pentanahan

Persamaan-persamaan untuk tahanan tanah dari berbagai system elektroda cukup rumit dan dalam beberapa hal dapat dinyatakan dengan pendekatan-pendekatan. Semua pernyataan dalam persamaan-persamaan itu diperoleh dari hubungan $R = \frac{\rho L}{A}$ dan didasarkan pada asumsi bahwa tahanan tanah seragam pada seluruh volume tanah, kendati hal ini tidak mungkin atau sangat jarang ada. Rumus pendekatan yang biasa digunakan untuk elektroda batang oleh *Prof. H. H Dwight* dari Institut Teknologi *Massachusetts* yaitu:

1. Satu batang elektroda pentanahan Panjang L, radius a

$$R = \frac{\rho}{2\pi L} \left(\ln \frac{4L}{a} - 1 \right) \dots\dots\dots(2.5)$$

2. Dua batang elektroda pentanahan $s > L$; jarak s

$$R = \frac{\rho}{4\pi L} \left(\ln \frac{4L}{a} - 1 \right) + \frac{\rho}{4\pi L} \left(1 - \frac{L^2}{3s^2} + \frac{2L^4}{5s^4} \right) \dots\dots\dots(2.6)$$

Dimana:

ρ = Tahanan jenis tanah (Ω -m)

s = Jarak antar elektroda (m)

L = Panjang elektroda atau pasak tanah (m)

a = Jari-jari penampang elektroda atau pasak tanah (m)

R = Tahanan elektroda atau pasak ke tanah (Ω)

2.8.5 Pengaruh Ukuran Pasak terhadap Tahanan

Apabila pasak ditanam lebih dalam ke tanah, maka tahanan akan berkurang. Secara umum dapat dikatakan, dua kali lipat lebih dalam tahanan berkurang 40%. Namun, bertambahnya diameter pasak secara material tidak akan mengurangi tahanan. Dua kali lipat diameter misalnya, hanya mengurangi besarnya tahanan kurang dari 10%.

2.8.6 Pengaruh Tahanan Tanah terhadap Tahanan Elektroda

Rumus *Dwight* menunjukkan, bahwa tahanan elektroda pentanahan ketanah tidak hanya tergantung pada kedalaman dan luas permukaan elektroda, tetapi juga tahanan tanah. Tahanan tanah merupakan factor kunci yang menentukan tahanan elektroda dan pada kedalaman berapa pasak harus ditanam agar diperoleh tahanan yang rendah. Tahanan tanah sangat bervariasi diberbagai tempat dan berubah menurut iklim. Tahanan tanah ini terutama ditentukan oleh kandungan elektrolit di dalamnya, kandungan air, mineral-mineral dan garam-garam. Tanah kering mempunyai tahanan tinggi, tetapi tanah basah dapat juga mempunyai tahanan tinggi apabila tidak mengandung garam-garam yang terlarut.

Karena tahanan tanah berkaitan langsung dengan kandungan air dan suhu, maka dapat saja diasumsikan bahwa tahanan pentanahan suatu system akan berubah sesuai perubahan iklim setiap tahunnya. Karena kandungan air dan suhu lebih stabil pada kedalaman yang lebih besar, maka agar dapat bekerja efektif sepanjang waktu, system pentanahan dapat dikonstruksi dengan pasak yang ditancapkan cukup dalam



di bawah permukaan tanah. Hasil terbaik akan diperoleh apabila kedalaman pasak mencapai tingkat kandungan air yang tetap.