



BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Sistem Pentanahan

Sistem pentanahan adalah sistem pengaman terhadap peralatan-peralatan yang mempergunakan listrik sebagai sumber tenaga, dari lonjakan listrik terutama akibat sambaran petir. Sistem pembumian digambarkan sebagai hubungan antara suatu peralatan atau sirkit listrik dengan bumi. Oleh karena itu, sistem pentanahan menjadi bagian esensial dari sistem tenaga listrik.¹

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.

Menurut Iwa Garniwa dalam Sura Deva (2014:7), Adapun syarat-syarat agar sistem pentanahan dapat bekerja secara efektif, sistem pentanahan harus memenuhi persyaratan-persyaratan sebagai berikut :

1. Membuat jalur impedansi yang rendah ketanah untuk pengamanan personil dan peralatan, menggunakan rangkaian yang efektif.
2. Dapat melawan dan menyebarkan gangguan berulang dan arus akibat surja hubung.
3. Menggunakan bahan tahan korosi terhadap berbagai kondisi kimiawi tanah, untuk menyakinkan kontinuitas penampilannya sepanjang umur peralatan yang dilindungi atau diamankan.
4. Menggunakan sistem mekanik yang kuat namun mudah dalam pelayanan.²

¹ Sudaryanto, *Analisis Perbandingan Nilai Tahanan Pembumian*, Medan, 2016, hlm. 71

² Sura Deva, *Analisa Perbandingan Nilai Tahanan Pentanahan Dengan Menggunakan Elektroda Batang Pada Beberapa Jenis Tanah*, hlm. 7



2.2 Fungsi dan Tujuan Sistem Pembumian

Fungsi pembumian adalah untuk mengalirkan arus gangguan kedalam tanah melalui suatu elektroda pentanahan yang ditanam dalam tanah bila terjadi gangguan. Disamping itu berfungsi juga sebagai pengaman baik bagi manusia maupun peralatan dari bahaya listrik.

Tujuan sistem pembumian :

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

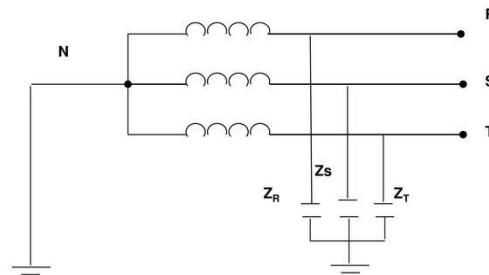
2.3 Sistem-Sistem Yang Diketanahkan³

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:

2.3.1 Titik Netral Ditanahkan Tanpa Impedansi

Pada sistem-sistem yang ditanahkan 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.

³ T.S. Hutauruk, 1991, *Pengentanahan Netral Sistem Tenaga & Pengentanahan Netral*, (Jakarta, Erlangga), halaman 13



Sumber: Garslandi, 2014

Gambar 2.1 Titik Netral ditanahkan tanpa impedansi tiga-fasa.

2.3.2 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.

2.3.3 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 : $R_0 \geq 2 X_0$ (2.1)

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

2.3.4 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 pengetanahan dengan reaktor yang impedansinya dapat diubah-ubah.

2.3.5 Titik Netral Diketanahkan Secara Efektif

Suatu sistem atau sebagian dari sistem dikatakan diketanahkan secara efektif apabila untuk tiap-tiap titik 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 memenuhi ketentuan-ketentuan diatas. Jadi pengetanahan tanpa impedansi dan pengetanahan dengan reaktansi yang rendah dapat termasuk pengetanahan 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

2.3.6 Sistem Pentanahan Peralatan⁴

Sistem pentanahan pada peralatan yaitu penghubungan antara bagian-bagian peralatan listrik yang pada keadaan normal tidak dialiri arus. Tujuannya adalah untuk membatasi tegangan antara bagian-bagian peralatan yang tidak dialiri arus dan antara bagian-bagian ini dengan tanah sampai pada suatu harga yang aman untuk semua kondisi operasi baik kondisi normal maupun saat terjadi gangguan. Sistem pentanahan ini berguna untuk memperoleh impedansi yang

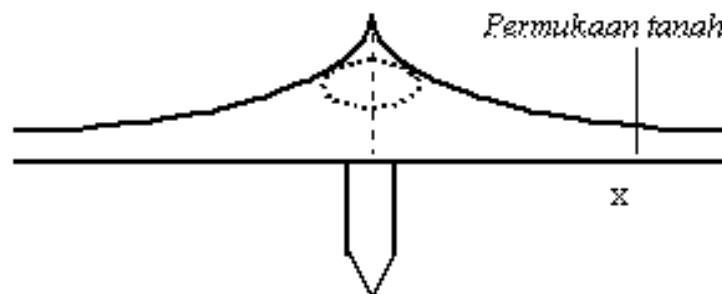
⁴ Hasanulaini, *Evaluasi Sistem Pentanahan Pada Gedung Kuliah 1 Teknik Sipil Politeknik Negeri Sriwijaya. Laporan Akhir*, hlm. 13

rendah sebagai jalan balik arus hubung singkat ke tanah. Sistem pentanahan pada peralatan pada umumnya menggunakan dua macam sistem pentanahan yaitu sistem *grid* dan sistem *rod*. Sistem pentanahan *grid* ialah menanamkan batang-batang elektroda sejajar dengan permukaan tanah, hal ini merupakan usaha untuk meratakan tegangan yang timbul. Sedangkan sistem *rod* ialah menanamkan batang-batang elektroda tegak lurus kedalam tanah, hal ini fungsinya hanya mengurangi tahanan pentanahan. Jadi yang membedakan sistem ini adalah pentanahan ini hanya dengan cara penanaman elektrodanya.

Adapun penjelasan dari sistem *grid* dan sistem *rod* adalah sebagai berikut :

1. Sistem *Grid*

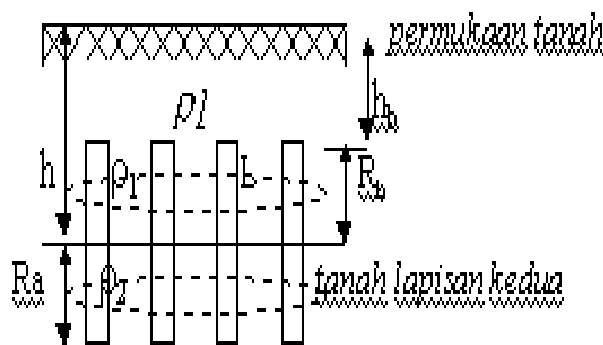
Pada sistem ini batang-batang elektroda ditanam sejajar dibawah permukaan tanah, batang-batang yang terhubung satu sama lain. Dengan cara ini bila jumlah konduktor yang ditanam banyak sekali, maka bentuknya mendekati bentuk plat dan ini merupakan bentuk maksimum atau yang mempunyai harga tahanan yang kecil untuk luas daerah tertentu, tetapi bentuk ini tidak efisien atau mahal. Pada sistem ini banyak konduktor akan tidak sebanding dengan harga tahanan karena fungsi dari konduktor sebenarnya adalah menyalurkan arus ke dalam tanah. Bila elektroda saling berdekatan maka volume tanah tidak bisa menerima arus dari elektroda-elektroda tersebut, dengan kata lain volume tanah tidak terbatas kemampuannya untuk menerima arus.



Gambar 2.2 Sistem *Grid*

2. Sistem Rod

Pada sistem ini untuk memperkecil tahanan pentanahan, maka jumlah batang konduktor dapat diperbanyak penanamannya. Apabila terjadi arus gangguan ke tanah maka arus ini akan mengakibatkan naiknya gradient tegangan permukaan tanah. Besarnya tegangan maksimum yang timbul tersebut sebanding dengan tahanan pentanahan.



Gambar 2.3 Sistem Rod

- Keterangan:
- (1) h = Kedalaman Penanaman Elektroda (Meter)
 - (2) p = Tahanan Jenis Tanah Rata-Rata (Ohm-Meter)
(Indeks 1 Atau 2 Menunjukkan Lapisan Tanah)
 - (3) R = Tahanan Untuk Satu Batang Elektroda Yang Ditanamkan (Ohm)

2.3.7 Pentanahan Penangkal Petir

Untuk menghindari timbulnya kecelakaan 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 di teruskan ke bumi. Bahaya yang dapat ditimbulkan dari penyaluran arus petir ini kebumi

adalah timbulnya flashover pada saluran hantaran penurunan serta gradien tegangan di sekitarelektroda bumi.

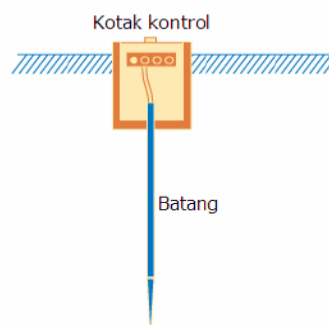
2.4 Macam-Macam Elektroda Pentanahan⁵

Elektroda pentanahan adalah penghantar yang ditanam dalam tanah dan membuat kontak langsung dengan tanah. Adanya kontak langsung tersebut bertujuan agar diperoleh pelaluan arus yang sebaik-baiknya apabila terjadi gangguan sehingga arus tersebut disalurkan ketanah.

Menurut PUIL (2000), elektroda adalah pengantar yang ditanamkan ke dalam tanah yang membuat kontak langsung dengan tanah. Untuk bahan elektroda pentanahan biasanya digunakan bahan tembaga, atau baja yang bergalvanis atau dilapisi tembaga. Jenis-jenis elektroda yang digunakan dalam pentanahan adalah sebagai berikut :

2.4.1 Elektroda Batang

Elektroda batang yaitu elektroda dari pipa atau besi baja profil yang dipancangkan ke dalam tanah. Elektroda ini merupakan elektroda yang pertama kali digunakan dan teori-teori berawal dari elektroda jenis ini. Elektroda ini banyak digunakan pada gardu induk. Secara teknis, elektroda jenis ini mudah pemasangannya dan tidak memerlukan lahan yang luas. Elektroda batang biasanya ditanam dengan kedalaman yang cukup dalam.



Gambar 2.4 Elektroda Batang

⁵ Ari Kusmanto, "Macam-Macam Elektroda", *Pentanahan*, 2013.

Rumus :

$$R = \frac{\rho}{2\pi L} \left(\ln \frac{4L}{a} - 1 \right) \quad (2.3)^6$$

Dimana :

ρ = Tahanan jenis tanah (ohm-cm)

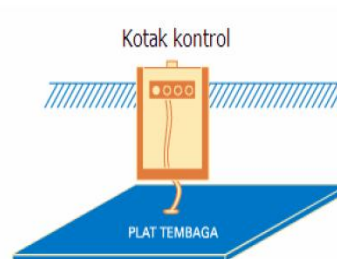
L = Panjang elektroda (cm)

a = Jari-jari penampang elektroda (cm)

R = Tahanan elektroda atau pasak ke tanah (ohm)

2.4.2 Elektroda Plat

Elektroda plat adalah elektroda dari bahan plat logam (utuh atau berlubang) atau dari kawat kasa. Pada umumnya elektroda ini ditanam dalam. Cara penanaman biasanya secara vertical, sebab dengan menanam secara horizontal hasilnya tidak berbeda jauh dengan vertical. Penanaman secara vertical adalah lebih praktis dan ekonomis.



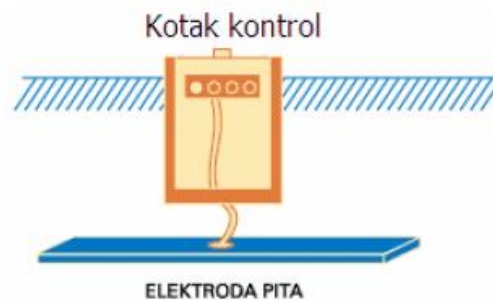
Gambar 2.5. Gambar elektroda plat

2.4.3 Elektroda Pita

Elektroda pita adalah elektroda yang terbuat dari hantaran berbentuk pita atau berpenampang bulat atau hantaran pilin yang pada umumnya ditanam secara dangkal. Ternyata sebagai pengganti pemancangan secara vertical ke dalam tanah, dapat dilakukan dengan menanam batang hantaran secara mendatar (horizontal)

⁶ T.Charlton, "Copper Development Association Publication", *Earthing Practice*. 1997

dan dangkal. Di samping kesederhanaannya itu, ternyata tahanan pentanahan yang dihasilkan sangat dipengaruhi oleh bentuk konfigurasi elektrodanya, seperti dalam bentuk melingkar, radial atau kombinasi antar keduanya.



Gambar 2.6. Elektroda Pita

Rumus :

$$R = \frac{\rho}{4,1 L} \left(1 + 1,84 \frac{b}{t} \right) \quad (2.4)^7$$

Dimana :

ρ = Tahanan jenis tanah (ohm-m)

L = Panjang elektroda (m)

b = Lebar Plat (m)

R = Tahanan elektroda (ohm)

t = Kedalaman plat tertanam daripermukaan tanah (m)

2.5 Jenis bahan dan ukuran elektroda.

Sebagai konsekwensi peletakannya di dalam tanah, maka elektroda dipilih dari bahan-bahan tertentu yang memiliki konduktivitas sangat baik dan tahan terhadap sifat-sifat yang merusak dari tanah, seperti korosi. Ukuran elektroda dipilih yang mempunyai kontak paling efektif dengan tanah. Tabel 2.1 berikut

⁷ T.Charlton, "Copper Development Association Publication", *Earthing Practice*. 1997

dapat digunakan sebagai acuan kasar harga tahanan pentanahan pada tanah dengan tahanan jenis tanah tipikal berdasarkan jenis dan ukuran elektroda.

Tabel 2.1 nilai rata-rata dari resistans pembumian untuk elektrode bumi.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Jenis elektrode	Pita atau penghantar pilin				Batang atau pipa				Pelat vertikal dengan sisi atas ± 1 m dibawah permukaan tanah	
	Panjang (m)				Panjang (m)				Ukuran (m ²)	
	10	25	50	100	1	2	3	5	0,5x1	1x1
Resistans pembumian (Ω)	20	10	5	3	70	40	30	20	35	25

Sumber: Ruhiat, 2016

2.6 Tahanan Jenis Tanah⁸

Dari rumus untuk menentukan tahanan tanah dari satu elektroda yang hemispherical $R = \rho/2\pi r$ terlihat bahwa tahanan pentanahan berbanding lurus dengan besarnya ρ . Untuk berbagai tempat harga ρ ini tidak sama dan tergantung pada beberapa faktor :

2.6.1 Sifat Geologi Tanah

Tabel 2.2 Tahanan Jenis Tanah

JENIS TANAH	TAHANAN JENIS TANAH (OHM M)
TANAH RAWA	30
TANAH LIAT DAN TANAH LADANG	100
PASIR BASAH	200
KERIKIL BASAH	500
PASIR DAN KERIKIL KERING	1,000
TANAH BERBATU	3,000

sumber : PUIL 1987

⁸ Ari Kusmanto, "Tahanan Jenis Tanah", *Pentanahan*, 2013.



Nilai resistansi jenis tanah sangat berbeda tergantung komposisi tanah seperti dapat dilihat dalam pasal 320-1 dalam PUIL 1987 atau yang ditunjukkan pada Tabel 2.2. Ini merupakan faktor utama yang menentukan tahanan jenis tanah. Bahan dasar dari pada tanah relatif bersifat bukan penghantar.

2.6.2 Komposisi Zat-Zat Kimia di Dalam Tanah

Kandungan zat – zat kimia dalam tanah terutama sejumlah zat organik maupun anorganik yang dapat larut perlu untuk diperhatikan pula. Didaerah yang mempunyai tingkat curah hujan tinggi biasanya mempunyai tahanan jenis tanah yang tinggi disebabkan garam yang terkandung pada lapisan atas larut. Pada daerah yang demikian ini untuk memperoleh pentanahan yang efektif yaitu dengan menanam elektroda pada kedalaman yang lebih dalam dimana larutan garam masih terdapat. Selain itu komposisi zat-zat kimia yang dipengaruhi oleh tanah yang memiliki kandungan garam inipun bisa didapatkan pada daerah dipesisir atau daerah dekat laut dimana air laut memiliki kandungan garam sekitar 3,5% yang artinya setiap 1 Liter air terdapat 35 gram garam yang pastinya sangat berguna untuk nilai pentanahan.

2.6.3 Kelembaban Tanah

Tahanan jenis tanah sangat dipengaruhi oleh konsentrasi air tanah. Semakin besar konsentrasi air di dalam tanah maka harga tahanan jenis tanah akan semakin kecil.

Proses mengalirnya arus listrik kedalam tanah sebagian besar adalah karena proses elektrolisis maka air dalam tanah akan mempengaruhi daya hantar listrik ketanah tersebut, sehingga tahanan jenis tanah akan turun sesuai dengan hubungan di bawah ini :

$$\rho = \frac{1}{T} \quad (2.5)^9$$

⁹ M. Yusufik dalam Sura Deva, *Analisa Perbandingan Nilai Tahanan Pentanahan Dengan Menggunakan Elektroda Batang Pada Beberapa Jenis Tanah*, hlm. 12



Dimana :

ρ = Tahanan Jenis Tanah (ohm-cm)

T = Konduktivitas Tanah

2.6.4 Kandungan Air Tanah

Kandungan air tanah sangat berpengaruh terhadap perubahan tahanan jenis tanah (ρ) terutama kandungan air tanah sampai dengan 20%. Dalam salah satu test laboratorium untuk tanah merah penurunan kandungan air tanah dari 20% ke 10% menyebabkan tahanan jenis tanah naik samapai 30 kali. Kenaikan kandungan air tanah diatas 20% pengaruhnya sedikit sekali.

2.6.5 Temperatur tanah

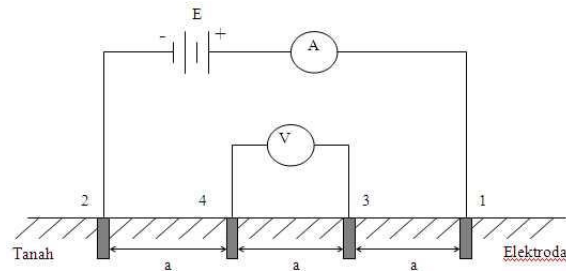
Temperatur bumi pada kedalaman 5 feet (= 1,5 m) biasanya stabil terhadap perubahan temperatur permukaan. Bagi Indonesia daerah tropic perbedaan temperatur selama setahun tidak banyak, sehingga faktor temperatur boleh dikatan tidak ada pengaruhnya.

2.7 Pengukuran Tahanan Jenis Tanah

Pengukuran tahanan jenis tanah biasanya dilakukan dengan 2 (dua) metode, yaitu sebagai berikut :

1. Metode empat elektroda (*four electrode method*) atau
2. Metode tiga titik (*three point method*)

Pengukuran tahanan jenis tanah dengan metoda empat elektroda menggunakan empat buah elektroda, sebuah batere, sebuah ampermeter, dan sebuah voltmeter yang sensitife, sebagaimana terlihat pada gambar dibawah ini.

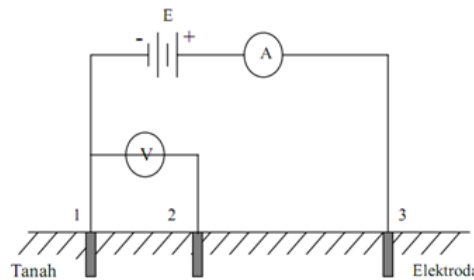


Sumber: Nirwan, 2008

Gambar 2.7. Pengukuran Tahanan Jenis Tanah Metode Empat Elektroda

Bila arus (I) masuk ketanah melalui salah satu elektroda dan kembali ke elektroda yang lain yang cukup jauh sehingga pengaruh diameter dapat diabaikan. Arus yang masuk ketanah mengalir secara radial dari elektroda.

Metode tiga titik (*three-point method*) dimaksudkan untuk mengukur tahanan pentanahan. Misalkan tiga buah batang pentanahan dimana batang 1 yang tahananannya hendak diukur dan batang-batang 2 dan 3 sebagai batang pentanahan pembantu yang juga belum diketahui tahananannya, seperti pada gambar 2.8.



Sumber: Nirwan, 2008

Gambar 2.8. Pengukuran Tahanan Jenis Tanah Metode Tiga Titik

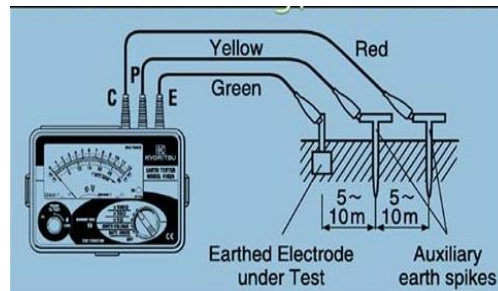
Ada berbagai macam instrument pengukur tanahan pentanahan, salah satu contohnya adalah Earth Hi Tester.

- Pengukuran normal (metoda 3 kutub)

1. Kalibrasi jarum pada alat ukur harus dalam posisi nol
2. Earth Tester mempunyai tiga kabel diantaranya adalah kebel merah, kuning dan hijau. langkah selanjutnya silahkan hubungkan kabel merah setra kuning ke

tanah dengan masing-masing jarak kurang lebih 10 meter dari pentanahan atau grounding

- langkah berikutnya silahkan hubungkan kabel hijau ke grounding yang sudah terpasang, dari ketiga kabel diatas silahkan hubungkan ke Earth Tester dengan warna pada alat ukur.
- Test grounding dengan mengarahkan skala pada ukuran 1 ohm, bila jarum menunjukkan dibawah angka 1ohm maka grounding kisaran nol koma (standard pbumian) dan sebaliknya kalau jarum menunjukkan diatas 1 ohm berarti pbumian kurang bagus.¹⁰



Sumber: Azly, 2016

Gambar 2.9. Earth Tester

2.8 Tahanan Pentanahan

Tahanan pentanahan merupakan hal yang tidak boleh diabaikan dalam pemasangan jaringan instalasi listrik . Pentanahan yang kurang baik tidak hanya membuang-buang waktu saja, tetapi pentanahan yang kurang baik juga berbahaya dan meningkatkan resiko kerusakan peralatan. Tanpa sistem pentanahan yang efektif, maka akan dihadapkan pada resiko sengatan listrik, disamping itu juga mengakibatkan kesalahan instrumen, distorsi harmonik, masalah faktor daya dan delima kemungkinan adanya intermitten. Jika arus gangguan tidak mempunyai jalur ke tanah melalui sistem pentanahan yang di desain dan dipelihara dengan baik, arus gangguan akan mencari jalur yang tidak diinginkan termasuk manusia.¹¹

¹⁰ Sapta Triwibowo, "Cara Mengukur Tahanan Pentanahan dengan Earth Tester". 2017

¹¹ Margiono Abdil, "Tahanan Pentanahan", 2013.



Organisasi pemberi rekomendasi standar untuk keamanan pentanahan antara lain adalah¹² :

1. OSHA (Occupational Safety Health Administration)
2. NFPA (National Fire Protection Association)
3. ANSI/ISA (American National Standards Institute and Instrument Society of America)
4. TIA (Telecommunications Industry Association)
5. IEC (International Electrotechnical Commission)
6. CENELEC (European Committee for Electrotechnical Standardization)
7. IEEE (Institute of Electrical and Electronics Engineers).

2.8.1 Faktor-Faktor Tahanan Pentanahan¹³

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.

Dari ketiga faktor tersebut diatas yang dominan pengaruhnya adalah tahanan sekeliling elektroda atau dengan kata lain tahanan jenis tanah (ρ).

¹² Margiono Abdil, "Tahanan Pentanahan", 2013

¹³ Anton Abdullah, "Sistem Pentanahan", 2015



2.8.2 Perhitungan Tahanan Pentanahan

Persamaan-persamaan untuk tahanan tanah dari berbagai sistem 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 Proff. H.B Dwight dari Institut Teknologi Massachusetts yaitu :

1. Satu Batang tanah panjang L , radius a

$$R = \frac{\rho}{2\pi L} \left(\ln \frac{4L}{a} - 1 \right) \quad (2.6)^{14}$$

2. Dua batang tanah $s > L$; jarak s

$$R = \frac{\rho}{4\pi L} \left(\ln \frac{4L}{a} - 1 \right) + \frac{\rho}{4\pi L} \left(1 - \frac{L^2}{3s^2} + \frac{2L^4}{5s^4} \right) \quad (2.7)^{15}$$

Dimana, ρ = Tahanan jenis tanah (ohm-cm)

s = Jarak antar elektroda (cm)

L = Panjang elektroda (cm)

a = Jari-jari penampang elektroda (cm)

R = Tahanan pentanahan (ohm)

2.8.3 Hal-Hal Yang Mempengaruhi Tahanan Tanah

Menurut NEC (National Electrical Code) (Kitab Undang-undang Kelistrikan Nasional) (1987, 250-83-3) dalam Margiono Abdil (2013) mensyaratkan bahwa panjang elektroda pentanahan minimum 2,5 meter (8 kaki)

¹⁴ T.Charlton, "Copper Development Association Publication", *Earthing Practice*. 1997

¹⁵ *Ibid.*



dihubungkan dengan tanah. Ada empat variabel yang mempengaruhi tahanan sistem pentanahan, yaitu :

1. Panjang/kedalaman elektroda pentanahan

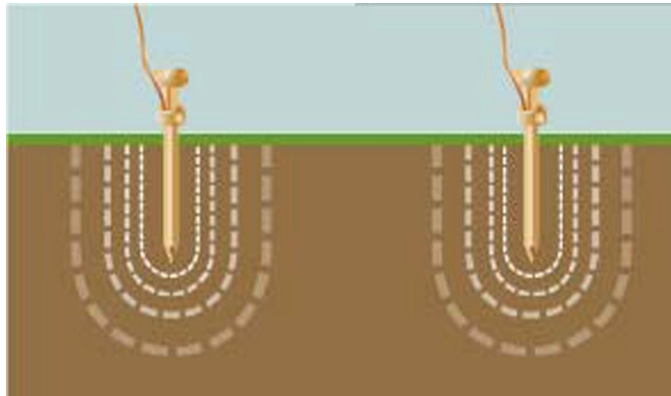
Satu cara yang sangat efektif untuk menurunkan tahanan tanah adalah memperdalam elektroda pentanahan. Tanah tidak tetap tahanannya dan tidak dapat diprediksi. Ketika memasang elektroda pentanahan, elektroda berada di bawah garis beku (*frosting line*). Hal ini dilakukan agar tahanan tanah tidak akan dipengaruhi oleh pembekuan tanah di sekitarnya. Secara umum, menggandakan panjang elektroda pentanahan bisa mengurangi tingkat tahanan sebesar 40%. Ada kejadian-kejadian dimana secara fisik tidak mungkin dilakukan pendalaman batang pentanahan di daerah-daerah yang terdiri dari batu, granit, dan sebagainya. Dalam keadaan yang demikian, metode alternatif bisa menggunakan semen pentanahan (*grounding cement*).

2. Diameter Elektroda Pentanahan

Menambah diameter elektroda pentanahan berpengaruh sangat kecil dalam menurunkan tahanan. Misalnya, bila diameter elektroda digandakan maka tahanan pentanahan hanya menurun sebesar 10%.

3. Jumlah Elektroda Pentanahan

Cara lain menurunkan tahanan tanah adalah menggunakan banyak elektroda pentanahan. Dalam desain ini, lebih dari satu elektroda dimasukkan ke tanah dan dihubungkan secara paralel untuk mendapatkan tahanan yang lebih rendah. Agar penambahan elektroda efektif, jarak batang tambahan setidaknya harus sama dalamnya dengan batang yang ditanam. Tanpa pengaturan jarak elektroda pentanahan yang tepat, bidang pengaruhnya akan berpotongan dan tahanan tidak akan menurun. Untuk membantu dalam memasang batang pentanahan yang akan memenuhi kebutuhan tahanan tertentu, maka dapat menggunakan tabel 2.3 tahanan pentanahan di bawah ini. Ingatlah, ini hanya digunakan sebagai pedoman, karena tanah memiliki lapisan dan jarak yang sama (homogen), jadi nilai tahanannya akan sangat berbeda-beda.



Sumber: Margiono Abdil, 2013

2.10. Elektrode pentanahan yang mempunyai pengaruh lapisan

Tabel 2.3 Tahanan pentanahan

Jenis Tanah	Tah Jenis Tanah	Kedalaman Elektroda			Potongan Pentanahan		
		3ohm	6ohm	10ohm	5ohm	10ohm	20ohm
Tanah lembab, seperti rawa	30 Ohm-m	10 m	5 m	3 m	12 m	6 m	3 m
Tanah Pertanian, seperti tanah liat	100 Ohm-m	33 m	17 m	10 m	40 m	20 m	10 m
Tanah liat Berpasir	150 Ohm-m	50 m	25 m	15 m	60 m	30 m	15 m
Tanah lembab Berpasir	300 Ohm-m	66 m	33 m	20 m	80 m	40 m	20 m
Campuran 1:5	400 Ohm-m	-	-	-	160 m	80 m	40 m
Kerikil lembab	500 Ohm-m	60 m	80 m	48 m	200 m	100 m	50 m
Tanah kering Berpasir	1000 Ohm-m	330 m	165 m	100 m	400 m	200 m	100 m
Kerikil kering	1000 Ohm-m	330 m	165 m	100 m	400 m	200 m	100 m
Tanah berbatu	30.000 ohm-m	1000 m	500 m	300 m	1200 m	600 m	300 m
Batu karang	10 ⁷ ohm-m	-	-	-	-	-	-

Sumber: Margiono Abdil, 2013

4. Desain Sistem Pentanahan

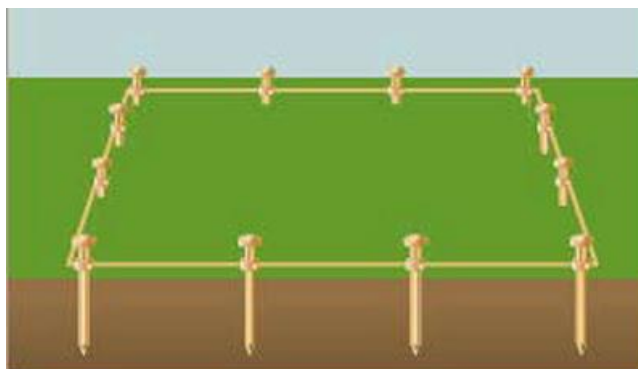
Sistem pentanahan sederhana terdiri dari satu elektroda pentanahan yang dimasukkan ke tanah. Penggunaan satu buah elektroda pentanahan adalah hal yang umum dilakukan dalam pentanahan dan biasa ditemukan di luar rumah atau di toko-toko perorangan (lihat gambar 2.11). (Margiono Abdil,2013)



Sumber: Margiono Abdil,2013

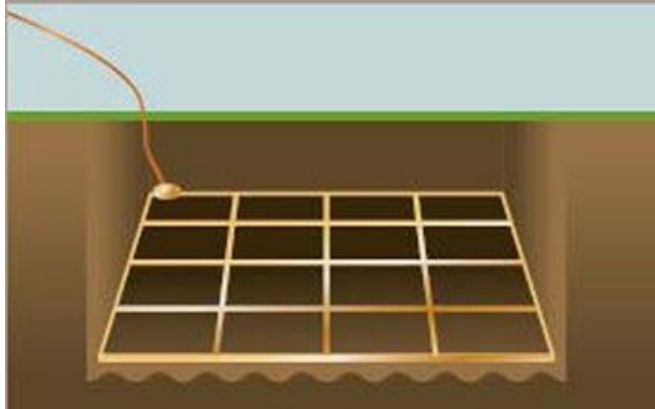
Gambar 2.11 Satu buah elektrode pentanahan

Ada pula sistem pentanahan kompleks terdiri dari banyak batang pentanahan yang terhubung, jaringan bertautan atau kisi-kisi, plat tanah, dan loop tanah (lihat gambar 2.12, 2.13 dan 2.14). Sistem-sistem ini dipasang secara khusus di substasiun pembangkit listrik, gedung perkantoran, dan tempat-tempat menara seluler. Jaringan kompleks meningkatkan secara dramatis jumlah kontak dengan tanah sekitarnya dan menurunkantahanan tanah.



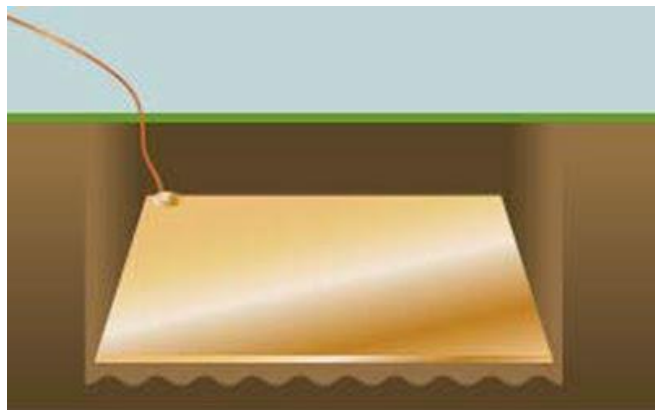
Sumber: Margiono Abdil,2013

Gambar 2.12. Hubungan beberapa elektrode pentanahan



Sumber: Margiono Abdil, 2013

Gambar 2.13. Jaringan bertautan



Sumber: Margiono Abdil, 2013

Gambar 2.14. Plat pentanahan