



BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Sistem Pentanahan

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 semakin jauh, baru diperlukan sistem pentanahan. Kalau tidak, hal ini biasa menimbulkan potensi bahaya listrik yang sangat tinggi, baik bagi manusia, peralatan dan sistem pelayannya sendiri.

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

Agar sistem pentanahan dapat bekerja secara efektif, sistem pentanahan harus memenuhi persyaratan-persyaratan sebagai berikut (Pabla, As dan Abdul Hadi, 1991:154) :

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



2.2 Tujuan Pentanahan

Adapun tujuan sistem pentanahan secara umum (Sumardjati, 2005:159) :

1. Menjamin keselamatan orang dari sengatan listrik baik dalam keadaan normal atau tidak dari tegangan sentuh dan tegangan langkah.
2. Menjamin kerja peralatan listrik/elektronik.
3. Mencegah kerusakan peralatan listrik/elektronik.
4. Menyalurkan energi serangan petir ke tanah.
5. Menstabilkan tegangan dan memperkecil kemungkinan terjadinya *flashover*.
6. Mengalihkan energi RF liar dari peralatan-peralatan seperti: audio, video, kontrol, dan computer.

Pengetanahan peralatan berlainan dengan pengetanahan sistem, yaitu pengetanahan bagian dari peralatan yang pada kerja normal tidak dilalui arus.

Tujuan dari pengetanahan peralatan tersebut adalah (Hutauruk, 1991:125) :

- a. Untuk membatasi tegangan antara bagian-bagian peralatan yang tidak dilalui arus dan antara bagian - bagian ini dengan tanah sampai pada suatu harga yang aman untuk semua kondisi operasi normal atau tidak normal.
- b. Untuk memperoleh impedansi yang kecil atau rendah dari jalan balik arus hubung singkat ke tanah.

Secara singkat tujuan pengetanahan itu dapat diformulasikan sebagai berikut (Hutauruk, 1991:125) :

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



2.3 Komponen Sistem Pentanahan

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

2.3.1 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 10mm^2 . 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 bisa lama terjamin.

2.3.2 Elektroda Pentanahan

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

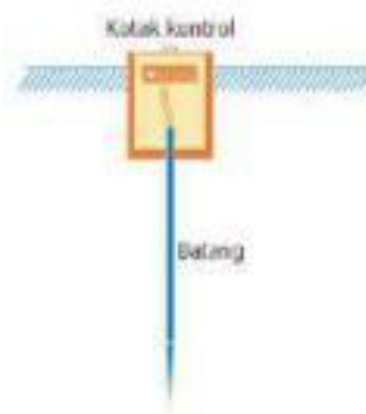
Untuk mendapatkan harga resistansi pentanahan yang serendah mungkin harus memenuhi beberapa persyaratan antara lain :

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 elektroda batang, elektroda pita, dan elektroda plat.

1. Elektroda Batang

Elektroda Batang (*Rod*), 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.



Gambar 2.1 Elektroda Batang.

Elektroda ini banyak digunakan di gardu induk-gardu induk. Secara teknis, elektroda batang ini mudah pemasangannya, yaitu tinggal

memancangkannya ke dalam tanah. Disamping itu, elektroda ini tidak memerlukan lahan yang luas (Sumardjati, 2008:168).

Gambar 2.1 menunjukkan contoh dari elektroda batang.

$$R_G = R_R = \frac{\rho}{2\pi L_R} \left(In \frac{4L_R}{A_R} - 1 \right) \dots\dots\dots(2.1)^1$$

Dimana :

R_G = Tahanan pentanahan (Ohm)

R_R = Tahanan pentanahan untuk batang tunggal (Ohm)

ρ = Tahanan jenis tanah (Ohm-meter)

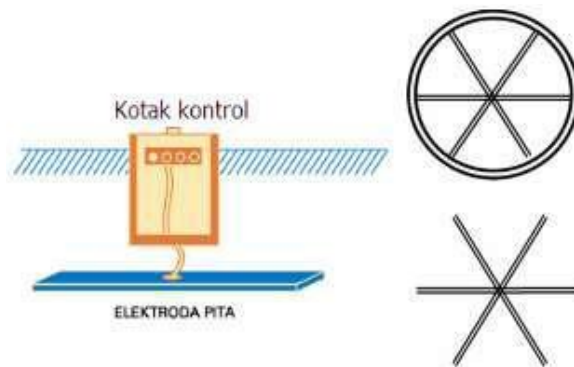
L_R = Panjang elektroda (meter)

A_R = Diameter elektroda (meter)

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(Sumardjati, 2008:169).

Gambar 2.2 dibawah ini menunjukkan contoh dari elektroda pita.



Gambar 2.2 Elektroda Pita.

Pemancangan ini akan bermasalah apabila mendapat lapisan – lapisan tanah yang berbatu, disamping sulit pemancangannya, untuk mendapatkan nilai tahanan yang rendah juga bermasalah.

¹Prih sumardjati, teknik tenaga listrik,Hlm : 169.

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.

Contoh rumus perhitungan tahanan pentanahan:

$$R_G = R_W = \frac{\rho}{\pi L_W} \left(\ln \frac{2L_W}{\sqrt{d_W z_W}} + \frac{1,4L_W}{\sqrt{A_W}} - 5,6 \right) \dots\dots\dots(2.2)^2$$

Dimana :

R_W = Tahanan dengan kisi-kisi (*grid*) kawat (Ohm)

ρ = Tahanan jenis tanah (Ohm meter)

d_W = Diameter kawat (meter)

L_W = Panjang total *grid* kawat (meter)

Z_W = Kedalaman penanaman (meter)

A_W = Luasan yang dicakup oleh *grid* (meter²)

3. Elektroda Plat

Elektroda plat adalah elektroda dari bahan plat logam (utuh atau berlubang) dari kawat kasa.



Gambar 2.3 Elektroda Plat.

²Prih sumardjati, teknik tenaga listrik, Hlm : 169.



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. Bentuk elektroda plat biasanya empat persegi atau empat persegi panjang. Cara penanaman biasanya secara vertical, sebab dengan menanam secara horizontal hasilnya tidak berbeda jauh dengan vertical. Penanaman secara vertical adalah lebih praktis dan ekonomis (Sumardjati, 2005:169). Contoh dari gambar elektroda plat ditunjukkan pada gambar 2.3.

Contoh rumus perhitungan tahanan pentanahan elektroda pelat tunggal :

$$R_G = R_P = \frac{\rho}{2\pi L_P} \left(\ln \frac{8W_P}{\sqrt{0,5 W_P + T_P}} \right) - 1 \dots \dots \dots (2.3)^3$$

Dimana :

R_P = Tahanan pentanahan pelat (Ohm)

ρ = Tahanan jenis tanah (Ohm-meter)

W_P = Lebar pelat (meter)

L_P = Panjang pelat (meter)

T_P = Tebal pelat (meter)

4. Elektroda Jenis Lain

Selain ketiga elektroda pentanahan diatas yaitu elektroda batang, elektroda pita, dan elektroda plat, ada juga jenis elektroda lain yang biasa digunakan sebagai elektroda pentanahan pada peralatan listrik seperti jaringan pipa air minum dan selubung logam kabel (PUIL, 2000:82).

- a. Jaringan Pipa Air Minum
- b. Jika jaringan pipa air minum dari logam dipakai sebagai elektrode bumi, maka harus diperhatikan bahwa resistans pembumiannya dapat menjadi besar akibat digunakannya pipa sambungan atau flens dari bahan isolasi.

³Prih sumardjati, teknik tenaga listrik, Hlm : 169.



Resistans pembumian yang terlalu besar harus diturunkan dengan menghubungkan jaringan tersebut dengan elektrode tambahan (misalnya selubung logam kabel). Jika pipa air minum dari logam dalam rumah atau gedung dipakai sebagai penghantar bumi, ujung pipa kedua sisi meteran air harus dihubungkan dengan pipa tembaga yang berlapis timah dengan ukuran minimum 16 mm^2 , atau dengan pita baja digalvanisasi dengan ukuran minimum 25 mm^2 (tebal pita minimum 3 mm).

c. 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 :

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

Untuk melihat ukuran minimum elektroda pentanahan lebih jelas dapat dilihat pada tabel 2.1 (PUIL, 2000:82).

Tabel 2.1 Ukuran Minimum Elektroda Pentanahan

No	Bahan Jenis Elektroda	Baja Digalvanisasi dengan Proses Pemanasan	Baja Berlapis Tembaga	Tembaga
1	Elektroda Pita	Pita baja 100 mm^2 setebal minimum 3 Mm	50 mm^2	Pita tembaga 50 mm^2 tebal minimum 2 mm
		Penghantar pilin 95 mm^2 (bukan kawat halus)		Penghantar pilin 35 mm^2 (bukan kawat halus)
2	Elektroda Batang	-Pipa baja 25 mm -Baja profil (mm) L 65 x 65 x7 U 6,5	Baja berdiameter 15 mm dilapisi tembaga setebal	



		T 6 x 50 x3 -Batang profil lain yang setaraf	250 μm	
3	Elektroda Pelat	Pelat besi tebal 3mm luas $0,5 \text{ m}^2$ sampai 1 m^2		Pelat tembaga tebal 2 mm luas $0,5 \text{ m}^2$ sampai 1 m^2

2.4 Pentanahan dan Tahanan Pentanahan

Dalam sebuah instalasi listrik ada empat bagian yang harus ditanahkan atau sering juga disebut dibumikan empat bagian dari instalasi listrik ini adalah (Marsudi, 2005:76) :

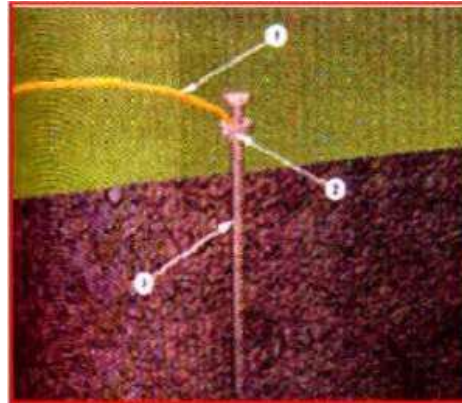
- a. Semua bagian instalasi yang terbuat dari logam (menghantar listrik) dan dengan mudah bisa disentuh manusia. Hal ini perlu agar potensial dari logam yang mudah disentuh manusia selalu sama dengan potensial tanah (bumi) tempat manusia berpijak sehingga tidak berbahaya bagi manusia yang menyentuhnya.
- b. Bagian pembuangan muatan listrik (bagian bawah) dari *lightning arrester*. Hal ini diperlukan agar *lightning arrester* dapat berfungsi dengan baik, yaitu membuang muatan listrik yang diterimanya dari petir ke tanah (bumi) dengan lancar.
- c. Kawat petir yang ada pada bagian atas saluran transmisi. Kawat petir ini sesungguhnya juga berfungsi sebagai *lightning arrester*. Karena letaknya yang ada di sepanjang saluran transmisi, maka semua kaki tiang transmisi harus ditanahkan agar petir yang menyambar kawat petir dapat disalurkan ke tanah dengan lancar melalui kaki tiang saluran transmisi.
- d. Titik netral dari transformator atau titik netral dari generator. Hal ini diperlukan dalam kaitan dengan keperluan proteksi khususnya yang menyangkut gangguan hubung tanah.

Secara teoritis, tahanan dari tanah atau bumi adalah nol karena luas penampang bumi tak terhingga. Tetapi kenyataannya tidak demikian, artinya tahanan pentanahan nilainya tidak nol. Hal ini terutama disebabkan oleh adanya



tahanan kontak antara alat pentanahan dengan tanah dimana alat tersebut dipasang (dalam tanah).

Gambar 2.4 menggambarkan batang pentanahan beserta aksesoris yang digunakan.



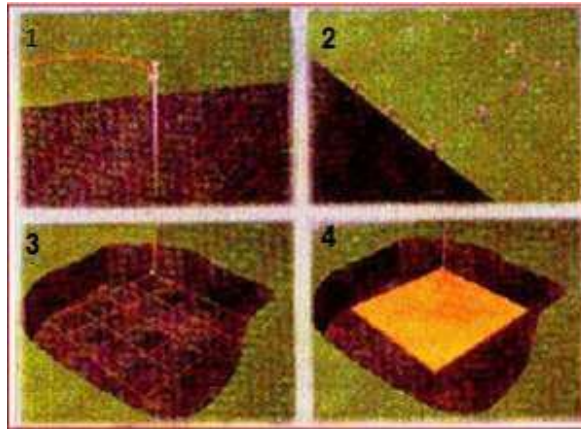
Gambar 2.4 Batang Pentanahan Beserta Aksesorisnya.

Keterangan :

1. Konduktor.
2. Penghubung Antara Konduktor dengan Elektroda Tanah.
3. Elektroda Tanah.

Tahanan pentanahan selain ditimbulkan oleh tahanan kontak tersebut di atas 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 (arus 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 dipengaruhi 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.

Alat untuk melakukan pentanahan ditunjukkan oleh Gambar 2.5.

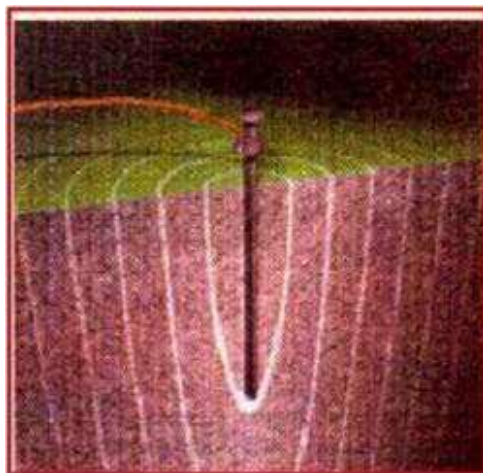


Gambar 2.5 Macam – Macam Alat Pentanahan.

Dari Gambar 2.5 tampak ada empat alat pentanahan, yaitu :

1. Batang pentanahan tunggal (*single grounding rod*).
2. Batang pentanahan ganda (*multiple grounding rod*). Terdiri dari beberapa batang tunggal yang dihubungkan parallel.
3. Anyaman pentanahan (*grounding mesh*), merupakan anyaman kawat tembaga.
4. Pelat pentanahan (*grounding plate*), yaitu pelat tembaga.

Gambar 2.6 menggambarkan batang pentanahan beserta lingkaran pengaruhnya (*sphere of influence*) di dalam tanah.



Gambar 2.6 Batang Pentanahan dan Lingkaran Pengaruhnya.



Tampak bahwa semakin dalam letaknya di dalam tanah sampai kedalaman yang sama dengan kedalaman batang pentanahan, garis lingkaran pengaruh ini semakin dekat dengan batang pentanahan. Hal ini disebabkan oleh adanya variasi tahanan jenis tanah.

Tabel 2.2 Tahanan Jenis Berbagai Macam Tanah dan Tahanan Pentanahannya

N O	Macam Tanah	Tahanan Pentanahan (Ω)					
		Kedalaman Batang			Panjang Pita		
		Pentanahan (m)			Pentanahan (m)		
		3m	6m	10m	5m	10m	20m
1.	Humus lembab	10	5	3	12	6	3
2.	Tanah pertanian, tanah liat	33	17	10	40	20	10
3.	Tanah liat berpasir	50	25	15	60	30	15
4.	Pasir lembab	66	33	20	80	40	20
5.	Pasir kering	330	165	100	400	200	100
6.	Beton 1:5	-	-	-	160	80	40
7.	Kerikil lembab	160	80	48	200	100	50
8.	Kerikil kering	330	165	100	400	200	100
9.	Tanah berbatu	1.000	500	300	1.200	600	300
10.	Batu karang	-	-	-	-	-	-

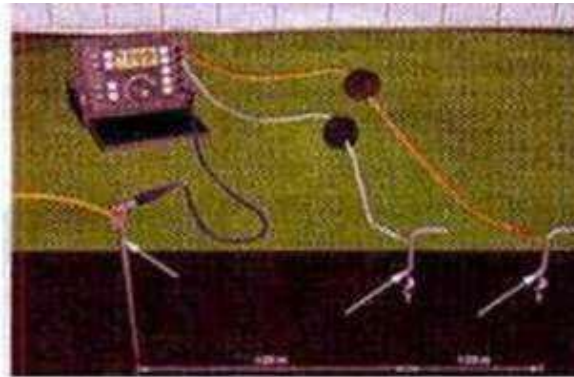
Tabel 2.2 menggambarkan tahanan pentanahan dengan berbagai kedalaman dan apabila digunakan pita pentanahan (*grounding strip*) dengan berbagai ukuran panjang. Dari tabel ini terlihat bahwa untuk memperoleh tahanan pentanahan 6 Ω di tanah humus lembab, batang pentanahannya cukup dipancang sedalam 5 meter tetapi bila di pasir kering kedalamannya harus 165 meter (Marsudi, 2005:78).

Pada gambar 2.7 tampak batang pentanahan yang akan diukur tahanan pentanahannya ditanam paling kiri. Paling kanan adalah batang pembantu untuk menyuntikkan arus dari alat pengukur tahanan pentanahan. Arus kemudian



mengalir kembali ke alat pengukur melalui batang pentanahan dan kabel warna biru (paling kiri).

Cara mengukur tahanan tanah secara umum adalah seperti yang ditunjukkan oleh Gambar 2.7.



Gambar 2.7 Cara Mengukur Tahanan Pentanahan.

Sementara pengukuran dilakukan, konduktor yang menghubungkan batang pentanahan dengan alat yang ditanahkan oleh batang ini harus dilepas. Alat pengukur ini mengukur tegangan antara batang pembantu yang ada di tengah dan batang pentanahan.

Selanjutnya alat pengukur ini akan menghitung tahanan pentanahan menurut hukum Ohm: $R = \frac{V}{I}$, di mana V adalah besarnya tegangan yang diukur seperti tersebut di atas dan I adalah besarnya arus yang kembali melalui batang pentanahan, yaitu yang melalui kabel warna biru paling kiri.

Dengan menggunakan transformator arus jepit (*clamp on current transformer*), seperti ditunjukkan oleh Gambar 2.8



Gambar 2.8 Penggunaan *Transformator* Arus Jepit.



Pengukuran tahanan pentanahan seperti gambar 2.8 dapat dilakukan tanpa memerlukan pelepasan hubungan konduktor yang menghubungkan batang pertanahan dengan alat yang ditanahkan, karena dengan menggunakan transformator arus jepit, arus yang diukur sudah pasti adalah seluruh arus yang melalui batang pentanahan yang bersangkutan.

Sedangkan pada cara pengukuran menurut Gambar 2.7, apabila konduktor penghubung alat yang ditanahkan tidak dilepas, kemungkinan ada arus yang mengalir ke alat tersebut sehingga arus yang masuk ke alat pengukur tidak seluruh arus yang melewati batang pentanahan dan terjadilah kekeliruan dalam mengukur tahanan pentanahan $R =$. Misalnya apabila yang dimaksud adalah sebuah tiang transmisi, maka arus yang disuntikkan alat pengukur sebagian dapat mengalir melalui tiang transmisi yang ditanahkan melalui batang pentanahan yang sedang diukur tahanan pentanahannya, kemudian terus mengalir ke kawat petir saluran transmisi dan turun ke tanah melalui tiang-tiang transmisi yang berhubungan dengan kawat petir ini. Dengan menggunakan cara pengukuran seperti Gambar 2.8, yaitu menggunakan transformator arus jepit, kekeliruan pengukuran tersebut di atas dapat dihindarkan walaupun konduktor penghubung ke tiang transmisi tidak dilepas (Marsudi, 2005:79).

2.5 Sistem – Sistem Yang Diketanahkan

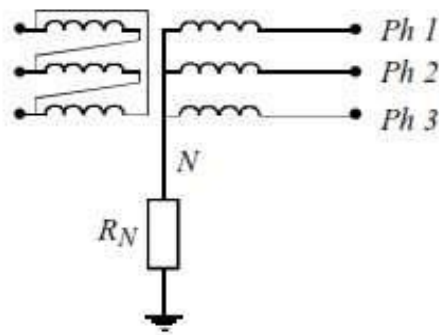
Sistem – sistem yang diketanahkan adalah pentanahan dari titik yang merupakan bagian dari jaringan listrik, misalnya titik netral generator atau transformator atau titik hantar tegangan atau hantaran netral. Jenis - jenis sistem yang diketanahkan antara lain.

2.5.1 Titik Netral Ditanahkan Melalui Tahanan

Dalam pentanahan ini harga tahanan mempunyai harga ohm yang tinggi dibandingkan dengan reaktansi sistem sehingga arus *line to ground fault* dibatasi oleh resistor tersebut. Dalam transmisi tegangan tinggi atau sistem kabel, arus kapasitif yang terjadi adalah kecil dibandingkan dengan arus resistif dan dapat diabaikan. Tetapi apabila terjadi *line to ground fault* terjadi kerugian tenaga yang

besar pada resistor. Besarnya nilai ohm dari *grounding* resistor tergantung pada besarnya tegangan sistem dan kapasitas sistem (Samaulah, 2004:75).

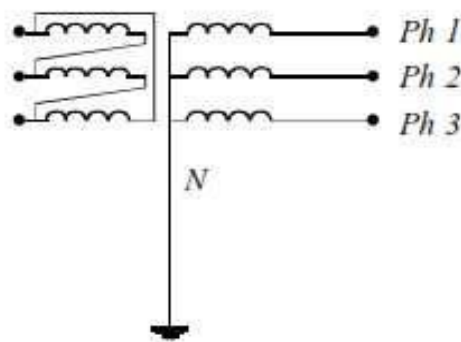
Gambar 2.9 dibawah ini menunjukkan sistem pentanahan titik netral melalui tahanan.



Gambar 2.9 Pentanahan Titik Netral Melalui Tahanan.

2.5.2 Titik Netral Ditanahkan Langsung (*Solid Grounding*)

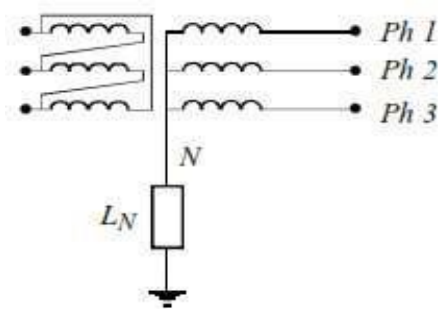
Pentanahan ini ialah apabila titik netral dari trafo kita hubungkan langsung ke tanah. Adapun sistem pentanahan titik netral langsung ditunjukkan oleh gambar 2.10. Sistem ini apabila terjadi gangguan kawat tanah akan mengakibatkan terganggunya kawat (*line outage*) dan gangguan ini harus diisolasi dengan membuka pemutus daya. Salah satu tujuan untuk mentanahkan titik netral secara langsung adalah untuk membatasi kenaikan tegangan dari fasa – fasa yang tidak terganggu, bila terjadi gangguan kawat tanah (Samaulah, 2004:76).



Gambar 2.10 Pentanahan Titik Netral Langsung.

2.5.3 Titik Netral Ditanahkan Melalui Reaktansi

Sistem pentanahan ini ialah menghubungkan titik netral trafo tenaga ketanah dengan suatu reaktansi yang besarnya tertentu, ($X_0 \leq 10X_1$). Dilihat dari besarnya perbandingan X_0 dan X_1 sistem pentanahan ini terletak antara pentanahan efektif dan sistem yang ditanahkan dengan kumparan *Petersen* (Samaulah, 2004:77). Contoh gambar dari sistem pentanahan titik netral melalui reaktansi dapat dilihat pada gambar 2.11.



Gambar 2.11 Pentanahan Titik Netral Melalui Reaktansi.

Keuntungan dari sistem pentanahan melalui reaktansi adalah :

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

2.5.4 Sistem Pentanahan Peralatan

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 normal maupun saat terjadi gangguan.

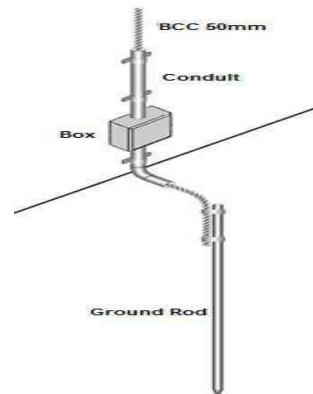
Sistem pentanahan pada peralatan pada umumnya menggunakan dua macam sistem pembumian yaitu sistem *grid* dan sistem *rod*. Sistem pentanahan *grid* ialah menanamkan batang – batang elektroda sejajar dengan permukaan tanah hal ini merupakan usaha untuk meratakan tegangan yang timbul. Sedangkan sistem *rod*

ialah menanamkan batang – batang elektroda tegak lurus kedalam tanah, hal ini berfungsi untuk mengurangi tahanan pentanahan .

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

1. Sistem 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 pendek jarak antara elektroda dan makin banyak jumlah elektroda yang ditanam, maka makin kecil konduksitasnya. Gambar 2.12 menggambarkan sistem pentanahan *rod*.

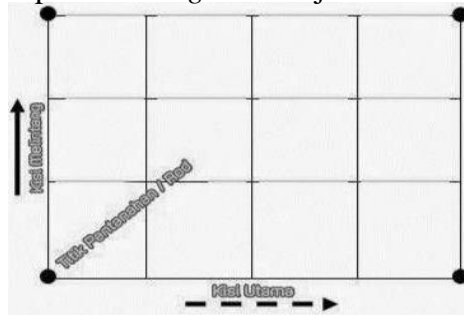


Gambar 2.12 Sistem Pentanahan *Rod*.

2. Sistem 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, malahan mempunyai beberapa kelebihan dari pentanahan sistem lama. Caranya ialah dengan menanam batang elektroda sejajar dengan tanah. Untuk mengecilkan tahanan pentanahan pada suatu area tertentu, kita tidak dapat dengan terus menerus menambah batang elektroda pentanahan, hal ini karena volume tanah terbatas kemampuannya untuk menerima arus.

Contoh sistem pentanahan *grid* ditunjukkan oleh gambar 2.13.



Gambar 2.13 Pentanahan *Grid*.

2.5.5 Sistem Pentanahan *Arrester*

Karena penting fungsi *arrester* dalam sistem koordinasi isolasi pada instalasi tenaga listrik, maka pemasangan alat ini harus betul-betul memenuhi persyaratan teknis. Karena fungsi *arrester* ialah mengalirkan arus lebih ketanah apabila terjadi gangguan petir maupun *over voltage*, maka sistem pentanahannya harus memenuhi standar yang ditentukan. Dalam praktek kebanyakan *arrester* dilakukan dengan pentanahan lokal, yaitu *rods* yang dimasukkan ke tanah dekat dengan *arrester*. Selanjutnya dari terminal pentanahan *arrester* kita hubungkan ke *rods* dengan menggunakan konduktor. Untuk sistem yang digunakan pada gardu Induk yang bersangkutan, besarnya tahanan pentanahan untuk *arrester* harus dibuat sekecil mungkin dan harganya dibatasi di bawah 5 Ω .

Pemilihan kawat pentanahan harus memenuhi persyaratan dan menurut *National Electric code*, besarnya kawat tanah tidak boleh lebih kecil dari No. 6 AWG. Dan untuk sistem yang tegangannya lebih besar harus memakai kawat yang lebih besar .

2.6 Tahanan Pentanahan

Tahanan pentanahan harus sekecil mungkin untuk menghindari bahaya - bahaya yang ditimbulkan oleh adanya arus gangguan tanah. Hantaran netral harus diketanahkan di dekat sumber listrik atau transformator, pada saluran udara setiap 200m dan di setiap konsumen. Tahanan pentanahan satu elektroda di dekat sumber listrik, transformator atau jaringan saluran udara dengan jarak 200m



maksimum adalah 10 Ohm dan tahanan pentanahan dalam suatu sistem tidak boleh lebih dari 5 Ohm (Sumardjati, 2005:168) .

Seperti yang telah disampaikan di atas bahwa tahanan pentanahan diharapkan bisa sekecil mungkin. Namun dalam prakteknya tidaklah selalu mudah untuk mendapatkannya karena banyak faktor yang mempengaruhi tahanan pentanahan.

Faktor-faktor yang mempengaruhi besar tahanan pentanahan adalah luas (Sumardjati, 2005:168) :

1. Bentuk elektroda. Ada bermacam-macam bentuk elektroda yang banyak digunakan, seperti jenis batang, pita dan pelat.
2. Jenis bahan dan ukuran elektroda. Sebagai konsekuensi 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.
3. Jumlah/konfigurasi elektroda. Untuk mendapatkan tahanan pentanahan yang dikehendaki dan bila tidak cukup dengan satu elektroda, bisa digunakan lebih banyak elektroda dengan bermacam-macam konfigurasi pemancangannya di dalam tanah.
4. Kedalaman pemancangan/penanaman di dalam tanah. Pemancangan ini tergantung dari jenis dan sifat-sifat tanah. Ada yang lebih efektif ditanam secara dalam, namun ada pula yang cukup ditanam secara dangkal.
5. Faktor - faktor alam. Jenis tanah : tanah gembur, berpasir, berbatu, dan lain- lain. moisture tanah : semakin tinggi kelembapan atau kandungan air dalam tanah akan memperendah tahanan jenis tanah. kandungan mineral tanah: air tanpa kandungan garam adalah isolator yang baik dan semakin tinggi kandungan garam akan memperendah tahanan jenis tanah, namun meningkatkan korosi, dan suhu tanah. Suhu akan berpengaruh bila mencapai suhu beku dan di bawahnya. Untuk wilayah tropis seperti Indonesia tidak ada masalah dengan suhu karena suhu tanah ada di atas titik beku.



2.7 Tahanan Jenis Tanah

Faktor keseimbangan antara tahanan pentanahan dan kapasitansi disekelilingnya adalah tahanan jenis tanah yang direpresentasikan dengan ρ (rho).

Harga tahanan jenis tanah pada daerah kedalaman yang terbatas tergantung dari beberapa faktor yaitu (Hutauruk, 1991:141) :

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

Untuk melihat gambaran mengenai besarnya tahanan jenis tanah untuk bermacam - macam jenis tanah dapat dilihat pada Tabel 2.3 dibawah ini:

Tabel 2.3 Resistansi Jenis Tanah (PUIL, 2000:80).

No	Jenis Tanah	Resistansi Jenis (Ω -m)
1	Tanah Rawa	30
2	Tanah Liat dan Tanah Ladang	100
3	Pasir Basah	200
4	Kerikil Basah	500
5	Pasir dan Kerikil Kering	1000
6	Tanah Berbatu	3000

2.8 Menghitung 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 diperoleh dari hubungan $R = \rho L / A$ dan didasarkan pada asumsi bahwa tahanan tanah seragam



pada seluruh volume tanah, kendati hal ini tidak mungkin/sangat jarang ada (Pabla, As dan Abdul Hadi, 1991:159).

Untuk menghitung tahanan pentanahan satu batang elektroda, rumus yang digunakan adalah:

Satu batang elektroda :

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

Di mana :

ρ = tahanan rata-rata tanah (ohm cm)

L = panjang elektroda tanah (cm)

a = jari jari penampang elektroda (cm)

R = tahanan elektroda ke tanah (ohm)

S = Jarak elektroda (cm)

Untuk menghitung tahanan pentanahan dimana elektroda pentanahannya dipasang paralel digunakan rumus :

1. Dua batang elektroda yang dipasang paralel :

$$\frac{\text{tahanan 2 pasakparalel}}{\text{tahananpasaktunggal}} = \frac{1+x}{2} \dots\dots\dots(2.5)^5$$

$$\text{Dimana } x = \frac{\left[\frac{L}{\ln \left[\frac{48xL}{a} - 1 \right]} \right]}{d}$$

d adalah jarak antara batang elektroda yang dipasang paralel.

2. Tiga batang elektroda yang dipasang paralel :

$$\frac{\text{tahanan 3 pasakparalel}}{\text{tahananpasaktunggal}} = \frac{1+2x}{3} \dots\dots\dots(2.6)^6$$

⁴Pabla. A. S, Ir. Hadi. Abdul.Sistem Distribusi Daya Listrik.1991.hlm 159

⁵Pabla. A. S, Ir. Hadi. Abdul.Sistem Distribusi Daya Listrik.1991.hlm 163

⁶Pabla. A. S, Ir. Hadi. Abdul.Sistem Distribusi Daya Listrik.1991.hlm 163



2.9 Pengaruh Tahanan Tanah Terhadap Tahanan Elektroda

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

Karena tahanan tanah berkaitan langsung dengan kandungan air dan suhu, maka dapat saja diasumsikan bahwa tahanan pentanahan 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, sistem pentanahan dapat dikonstruksi dengan pasak tanah yang ditancapkan cukup dalam di bawah permukaan tanah. Hasil terbaik akan diperoleh apabila kedalaman pasak mencapai tingkat kandungan air yang tetap (Pabla, As dan Abdul Hadi, 1991:159).

2.10 Pentanahan Pada Transformator Daya

Bagian – bagian yang dipentanahkan pada transformator daya adalah :

1. Terminal netral sekunder transformator.
2. *Lightning Arrester* (LA).
3. Bagian konduktif terbuka (BKT), seperti body transformator Pentanahan *lightning arrester* (LA), pentanahan BKT, pentanahan titik netral transformator dilakukan dengan memakai elektroda pentanahan sendiri-sendiri, namun penghantar pentanahan *lightning arrester* dan BKT dihubungkan dengan kawat tembaga (BC) 50 mm². Penghantar - penghantar pentanahan dilindungi dengan pipa galvanis dengan diameter 5/8 inci sekurang-kurangnya setinggi 3 meter diatas tanah.



2.11 Pengukuran Tahanan Jenis Tanah

Adapun pemilihan jenis – jenis metode pengujian yang sering dilakukan untuk mengukur tahanan jenis tanah adalah (Kusminto sigit, 2013) :

1. Metode *Wenner*

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

Sedangkan sisi positifnya susunan ini sangat cocok dan efisien untuk mengetahui perbandingan tegangan yang masuk per unitnya dari arus yang mengalir. Pada kondisi yang tidak baik seperti, tanah kering atau tanah padat membutuhkan waktu yang lama untuk mengetahui kontak tahanan antara elektroda dengan tanah.

Tahanan Jenis Tanah dengan metode *Wenner* dapat dihitung dengan persamaan 2.7.

$$\rho\alpha = \frac{4\pi_a R}{1 + \frac{2a}{\sqrt{a^2+4b^2}} - \frac{a}{\sqrt{a^2b^2}}} \dots\dots\dots(2.7)^7$$

Dimana :

P = Tahanan Jenis Tanah ($\Omega.m$)

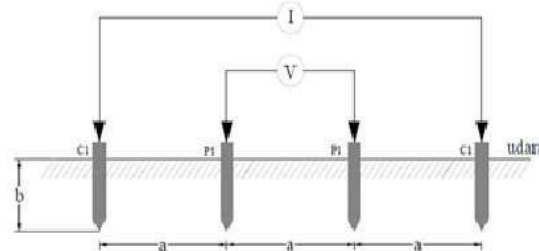
R = tahanan yang terukur (Ω)

a = jarak antara elektroda (m)

b = elektroda yang tertanam (m)

⁷<http://puilsigit.blogspot.co.id/2013/11/metodepengukuran-tahanan-jenis-tanah.html>

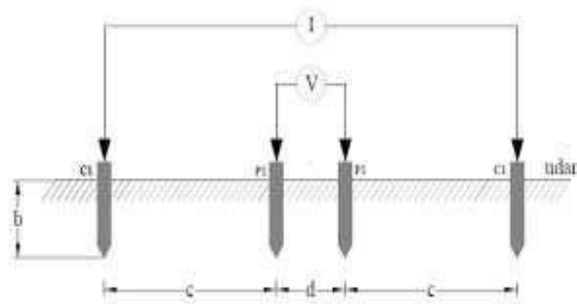
Susunan metode *Wenner* dapat ditunjukkan seperti Gambar 2.14 dibawah ini.



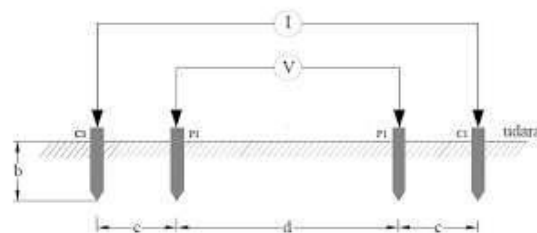
Gambar 2.14 Susunan *Wenner*.

2. Metode *Schlumberger*

Susunan metode *Schlumberger* dapat ditunjukkan seperti Gambar 2.15 dan Gambar 2.16 berikut ini.



Gambar 2.15 Susunan *Schlumberger*.



Gambar 2.16 Susunan *Schlumberger* Balik.

Pada Gambar 2.15 untuk mengukur jarak pisah elektroda bagian luar adalah 4 atau 5 kali dari jarak pisah elektroda bagian dalam. Berkurangnya jumlah elektroda bagian dalam untuk mengetahui jarak pisah elektroda bagian luar juga berdampak pada berkurangnya efek samping dalam hasil tes. Untuk memperoleh hasil tes sesuai dengan



waktu yang disediakan, itu dapat diperoleh dengan cara menukar antara jarak pisah elektroda bagian dalam dengan elektroda bagian luar dari susunan *schlumberger* seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.16, ketika ada masalah pada tahanan kontak. Selama tahanan kontak dalam keadaan normal yang mengakibatkan elektroda arus lebih besar tegangannya dari jarak pisah elektroda bagian dalam yang diubah itu, kedua-duanya dapat digunakan sebagai elektroda arus dan konfigurasi ini disebut susunan *schlumberger* balik.

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

Metode *Schlumberger* dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$\rho = \pi c (c + d) R / d \dots \dots \dots (2.8)^8$$

Dimana :

ρ = Tahanan Jenis Tanah ($\Omega.m$)

R = tahanan yang terukur (Ω)

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

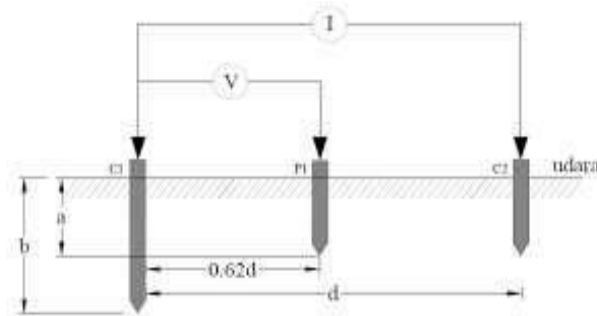
d = jarak antara elektroda bagian dalam (m)

b = elektroda yang tertanam (m)

⁸<http://puilsigit.blogspot.co.id/2013/11/metodepengukuran-tahanan-jenis-tanah.html>

3. Metode *Driven Rod*

Metode *Driven Rod* ditunjukkan seperti Gambar 2.17.



Gambar 2.17 Metode *Driven Rod*.

Metode *Driven Rod* atau Metode *Fall Of Potential* cocok digunakan dalam keadaan normal, seperti garis transmisi pada sistem pentanahan atau permasalahan dalam area, kesemuanya ini disebabkan karena pemasangan yang dangkal, kondisi tanah, penempatan pengukuran area dan tidak samanya jenis tanah pada dua lapisan tersebut. Metode *Driven Rod* dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$\rho = \frac{2\pi LR}{\left(\ln \frac{4L}{a} - 1\right)} \dots\dots\dots(2.9)^9$$

Dimana :

R = Tahanan pembumian elektroda batang (Ω)

ρ = Tahanan jenis tanah ($\Omega.m$)

L = Panjang batang yang tertanam (m)

a = Jari-jari elektroda batang (m)

⁹<http://puilsigit.blogspot.co.id/2013/11/metodepengukuran-tahanan-jenis-tanah.html>

2.12 Pengukuran Tahanan Pentanahan

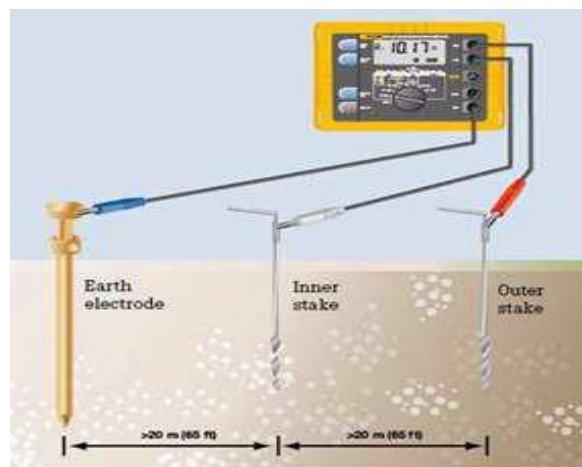
Pengukuran tahanan pentanahan memiliki 2 cara yaitu :

A. Pengukuran Secara Langsung

Pengukuran secara langsung dibagi menjadi 2 metode yaitu :

1. Metode Uji Drop Tegangan

Cara kerja metode uji drop tegangan dapat dijelaskan dengan langkah-langkah sebagai berikut :

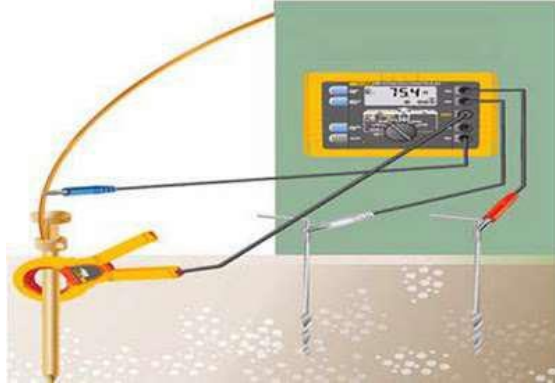


Gambar 2.18 Metode Uji Drop Tegangan

Pada saat pengukuran dilakukan konduktor yang menghubungkan batang pentanahan dengan elektroda utama harus dilepas. Karena terdapat pengaruh tahanan paralel dalam sistem yang ditanahkan. Kemudian *earth tester* dihubungkan ke elektroda utama, 2 buah elektroda bantu ditancapkan ke tanah secara segaris, jauh dari elektroda utama. Biasanya, dengan jarak 10 - 15 meter. *Earth tester* akan mengukur tegangan antara batang elektroda bantu yang ada ditengah dan elektroda utama.

Selanjutnya *Earth tester* akan menghitung tahanan pentanahan menurut hukum ohm, dimana V adalah besarnya tegangan yang diukur dan I adalah besarnya arus yang kembali melalui elektroda utama.

2. Metode Selektif



Gambar 2.19 Skema Pengetesan Tahanan Pentanahan Dengan Metode Selektif

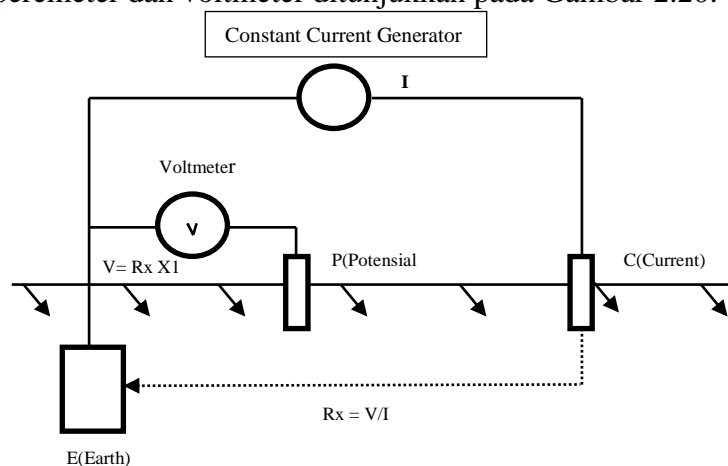
Pengukuran tahanan pentanahan dengan metode selektif sangat mirip dengan pengukuran tahanan pentanahan dengan metode uji drop tegangan, kedua metode menghasilkan ukuran yang sama, tapi metode selektif dapat dilakukan dengan cara yang jauh lebih aman dan lebih mudah. Hal ini dikarenakan dengan pengujian selektif, elektroda utama tidak harus dilepaskan dari sambungannya di tempat itu.

Seperti halnya pada pengetesan tahanan pentanahan dengan metode uji drop tegangan, 2 buah elektroda bantu ditancapkan ke tanah secara segaris, jauh dari elektroda utama. Biasanya, dengan jarak 10 - 15 meter. Kemudian alat uji (*earth tester*) dihubungkan ke elektroda utama, dengan kelebihan tidak perlu melepaskan hubungan konduktor yang menghubungkan batang pentanahan dengan alat yang ditanahkan. Akan tetapi, klem khusus dijepitkan di sekitar elektroda utama, yang dapat menghilangkan pengaruh tahanan paralel dalam sistem yang ditanahkan, jadi hanya elektroda utama terkait yang diukur menggunakan klem tersebut.

B. Pengukuran Secara Tidak Langsung

Pengukuran secara tidak langsung merupakan proses pengukuran yang dilaksanakan dengan memakai beberapa jenis alat ukur berjenis komparator/pembanding, standar dan bantu. Perbedaan harga yang ditunjukkan oleh skala alat ukur dibandingkan dengan ukuran standar (pada alat ukur standar) dapat digunakan untuk menentukan dimensi objek ukur. Metode yang biasa digunakan dalam pengukuran secara tidak langsung adalah metode *fall of potensial*, yaitu dengan menggunakan amperemeter dan voltmeter. karena untuk mendapatkan nilai tahanan pentanahan yaitu dengan membandingkan nilai tegangan dibagi dengan nilai arus yang didapat.

Adapun cara pengukuran tahanan pentanahan menggunakan amperemeter dan voltmeter ditunjukkan pada Gambar 2.20.



Gambar 2.20 Pengukuran Secara Tidak Langsung Tahanan Pentanahan Dengan Voltmeter dan Amperemeter.

Cara pengukuran tahanan pentanahan seperti Gambar 2.20 dapat dilakukan dengan cara menancapkan elektroda bantu P sejauh 20 meter atau lebih dari elektroda utama, kemudian tancapkan elektroda bantu C sejauh 20 meter atau lebih dari elektroda P. Kutub pentanahan elektroda P dan elektroda C harus dalam satu garis lurus. Kemudian pasang

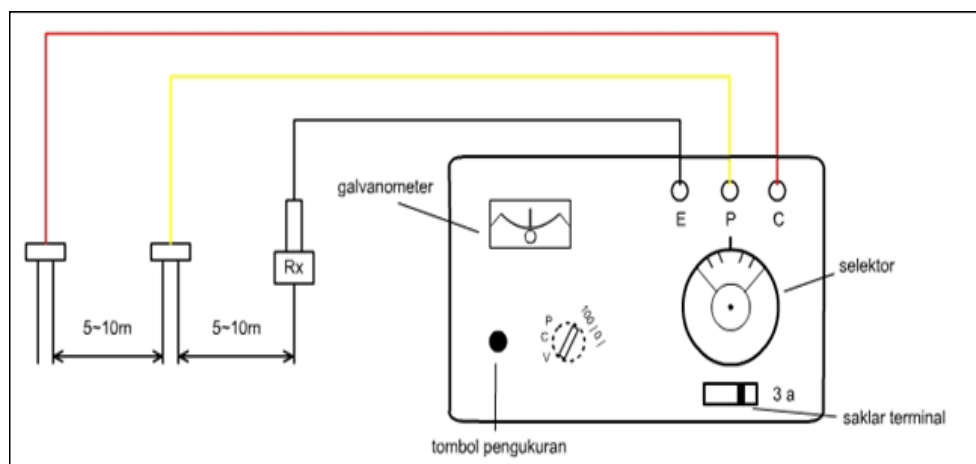
voltmeter antara elektroda utama dengan elektroda P, sambungkan amperemeter menuju sumber daya AC kemudian ke elektroda C.

2.13 Cara Pengukuran Tahanan Pentanahan Menggunakan *Earth Tester*

Pengukuran tahanan pentanahan yang akan digunakan adalah menggunakan *earth tester*. Adapun cara pengukuran tahanan pentanahan menggunakan alat *earth tester* adalah sebagai berikut :

1. Siapkan peralatan yang dibutuhkan seperti *earth tester*.
2. Terminal 1 dihubungkan dengan ujung elektroda pentanahan.
3. Terminal 2 dihubungkan dengan ujung elektroda arus.
4. Terminal 3 dihubungkan dengan ujung elektroda tegangan.
5. Tancapkan elektroda arus ke tanah sejauh 5 - 10 meter.
6. Tancapkan elektroda tegangan ke tanah sejauh 5 - 10 meter.
7. Setelah terminal dihubungkan maka geser switch pada posisi on.
8. Setelah on maka jarum penunjuk akan menunjukkan.
9. lihat angka yang merupakan hasil dari pengukuran tahanan tanah posisi Ω .
10. Catat hasil dari pengukuran.

Cara pemasangan kabel untuk pengukuran tahanan pentanahan pada *earthtester* ditunjukkan oleh Gambar 2.21.



Gambar 2.21 Skema Pengukuran Tahanan Pentanahan dengan *earth tester*.