



BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Sistem Pentanahan

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.^[7] Oleh karena itu, sistem pentanahan menjadi bagian esensial dari sistem tenaga listrik.

Masalah pentanahan merupakan salah satu faktor penting di dalam perlistrikan seperti pada stasiun pembangkit, gardu induk, sistem transmisi dan distribusi, ia mempunyai hubungan yang erat dengan perlindungan suatu sistem berikut semua peralatannya.

Apabila suatu tindakan pengamanan/perlindungan yang baik akan dilaksanakan, maka harus ada sistem pentanahan yang dirancang dengan benar. Beberapa waktu yang lalu masih ada pendapat bahwa semua peralatan yang sudah dihubungkan dengan tanah, betapa jeleknya hubungan tanah itu sudah memberikan jaminan keamanan baik bagi peralatan itu sendiri maupun bagi operator yang bertugas, pendapat ini menimbulkan bahaya bagi keselamatan manusia sebagai subyek yang paling penting, yaitu bila terjadi gangguan pada peralatan itu.

Sangatlah perlu bahwa perencanaan sistem pentanahan dengan teliti sehingga bisa diperoleh perlindungan yang terpercaya, perlindungan ini akan menjamin pelayanan yang kontinu dan jangka hidup peralatan akan bertambah panjang.

Agar sistem pentanahan dapat bekerja efektif, harus memenuhi persyaratan-persyaratan sebagai berikut :^[1]

- a. Membuat jalur impedansi rendah ke tanah untuk pengamanan personil dan peralatan, menggunakan rangkaian yang efektif.
- b. Dapat melawan dan menyebarkan gangguan berulang dan arus akibat surja hubung (surge currents).

1. A S, Pabla & Ir. Abdul Hadi. 1991, *Sistem Distribusi Tenaga Listrik*. Hal 154

7. Sumardjati, Prih dkk. *Teknik Pemanfaatan Tenaga Listrik Jilid 1*. Hal 159



- c. Menggunakan bahan tahan korosi terhadap berbagai kondisi kimiawi tanah, untuk meyakinkan kontinuitas penampilannya sepanjang umur peralatan yang dilindungi.
- d. Menggunakan sistem mekanik yang kuat namun mudah dalam pelayanan.

2.2 Tujuan Pentanahan

Secara umum, tujuan sistem pentanahan adalah :^[7]

- a. Menjamin keselamatan orang dari sengatan listrik baik dalam keadaan normal atau tidak dari tegangan sentuh dan tegangan langkah.
- b. Menjamin kerja peralatan listrik atau elektronik.
- c. Mencegah kerusakan peralatan listrik atau elektronik.
- d. Menyalurkan energi sambaran petir ke tanah.
- e. Menstabilkan tegangan dan memperkecil kemungkinan terjadinya *flashover* ketika terjadi transien.

2.3 Pentanahan dan Tahanan Pentanahan

Dalam sebuah instalasi listrik, ada empat bagian yang harus ditanahkan atau sering juga disebut pembumian. Empat bagian dari instalasi listrik ini adalah :^[4]

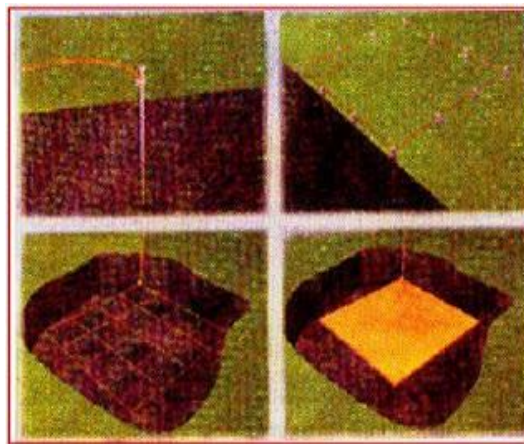
- a. Semua bagian instalasi yang terbuat dari logam (menghantarkan listrik) dan dapat dengan mudah disentuh manusia. Hal ini diperlukan agar potensial dari logam yang mudah disentuh manusia selalu sama dengan potensial tanah (bumi) sehingga tidak berbahaya bagi manusia yang menyentuhnya.
- b. Bagian pembuangan muatan listrik (bagian bawah) dari *lightning arrester*. Hal ini diperlukan agar *lightning arrester* dapat 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.

4. Marsudi, Djiteng. 2005. *Pembangkitan Energi Listrik*. Hal 76

7. Sumardjati, Prih dkk. *Teknik Pemanfaatan Tenaga Listrik Jilid 1*. Hal 159

d. Titik netral dari transformator atau titik netral dari generator. Hal ini diperlukan dalam kaitannya dengan keperluan proteksi khususnya yang menyangkut gangguan hubung tanah.

Secara teoritis, tahanan tanah atau bumi adalah nol karena luas penampang bumi tak terhingga. Namun, kenyataannya tidak demikian, tahanan pentanahan nilainya tidak nol. Hal ini disebabkan oleh adanya tahanan kontak antara alat pentanahan dengan tanah di mana alat tersebut dipasang (di dalam tanah). Alat untuk melakukan pentanahan ditunjukkan oleh Gambar 2.1



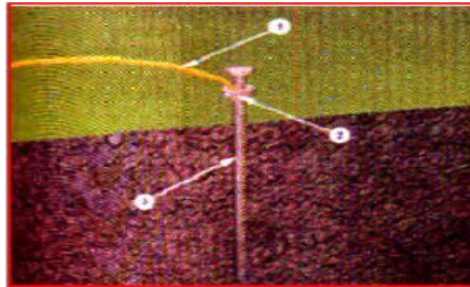
Gambar 2.1 Macam-macam Alat Pentanahan^[4]

Gambar 2.1 diatas menunjukkan bahwa ada empat alat pentanahan, yaitu :

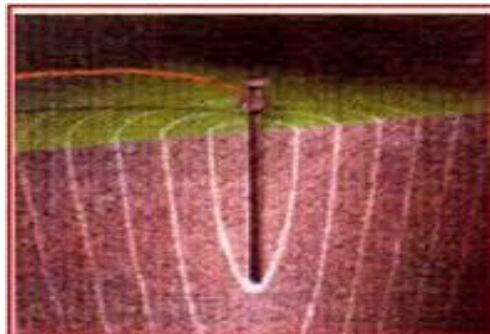
- Batang pentanahan tunggal (*single grounding rod*).
- Batang pentanahan ganda (*multiple grounding rod*), yang terdiri dari beberapa batang tunggal yang dihubungkan paralel.
- Anyaman pentanahan (*grounding mesh*), yang merupakan anyaman kawat tembaga.
- Pelat pentanahan (*grounding plate*), yaitu 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 (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. Semakin dalam letaknya, umumnya tahanan jenisnya semakin kecil, karena komposisinya semakin padat dan umumnya juga lebih basah. Oleh karena itu, dalam memasang batang pentanahan, semakin dalam pemasangannya akan semakin baik hasilnya dalam arti akan didapat tahanan pentanahan yang semakin rendah.



Gambar 2.2 Batang Pentanahan Beserta Aksesorisnya.^[4]



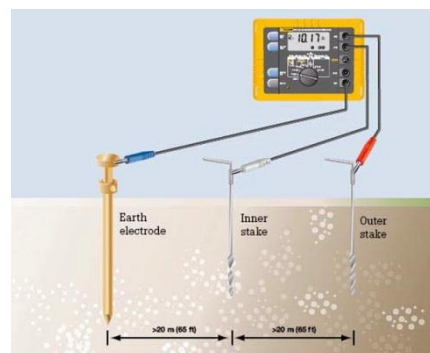
Gambar 2.3 Batang Pentanahan dan Lingkaran Pengaruhnya.^[4]

Gambar 2.2 menggambarkan batang pentanahan beserta aksesorisnya, seperti 1. Konduktor tanah; 2. Penghubung antara konduktor dengan elektroda tanah; 3. Elektroda tanah. Sedangkan pada gambar 2.3 menggambarkan batang pentanahan beserta lingkaran pengaruhnya (*sphere of influence*) di dalam tanah. 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 adanya variasi tahanan jenis tanah.

Tabel 2.1 Tahanan Jenis Berbagai Macam Tanah dan Tahanan Pentanahannya.^[4]

Macam Tanah	Tahanan Pentanahan (Ω)					
	Kedalaman Batang Pentanahan (m)			Panjang Pita Pentanahan (m)		
	3	6	10	5	10	20
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 2.1 diatas 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.

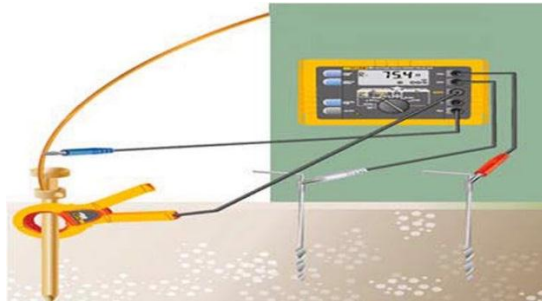


Gambar 2.4 Cara Mengukur Tahanan Pentanahan

Cara mengukur tahanan tanah secara umum adalah seperti yang ditunjukkan oleh Gambar 2.4. Pada gambar ini 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). 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 yaitu : $R = \frac{V}{I}$, dimana V adalah besarnya tegangan yang diukur seperti tersebut diatas dan I adalah besarnya arus yang kembali melalui batang pentanahan, yaitu yang melalui kabel warna biru paling kiri.^[4]



Gambar 2.5 Penggunaan Transformator Arus Jepit

Dengan menggunakan transformator arus jepit (*clamp on current transformer*), seperti ditunjukkan oleh Gambar 2.5, pengukuran tahanan pentanahan seperti tersebut diatas dapat dilakukan tanpa memerlukan pelepasan hubungan konduktor yang menghubungkan batang pentanahan 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 2.4 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 $R = \frac{V}{I}$. Dengan menggunakan cara pengukuran seperti Gambar 2.5, yaitu menggunakan transformator arus jepit, kekeliruan tersebut di atas dapat dihindarkan walaupun konduktor penghubung ke peralatan yang di tanahkan tidak dilepas.^[4]



2.4 Pentanahan Netral Sistem^[7]

Pentanahan titik netral dari sistem tenaga merupakan suatu keharusan pada saat ini, karena sistem sudah demikian besar dengan jangkauan yang luas dan tegangan yang tinggi. Pentanahan titik netral ini dilakukan pada alternator pembangkit listrik dan transformator daya pada gardu-gardu induk dan gardu-gardu distribusi.

Ada bermacam-macam pentanahan sistem. Antara satu dan lainnya mempunyai kelebihan dan kekurangan masing. Bahasan berikut ini tidak dimaksudkan membahas kekurangan dan kelebihan metoda tersebut, namun lebih menitik beratkan pada macam-macam pentanahan titik netral yang umum digunakan. Jenis pentanahan sistem akan menentukan skema proteksinya, oleh karena itu, jenis pentanahan ini sangat penting diketahui.

Kode yang digunakan mempunyai arti sebagai berikut :^[5]

Huruf Pertama : Hubungan sistem tenaga listrik ke bumi.

T = Hubungan langsung satu titik ke bumi.

I = Semua bagian aktif di isolasi dari bumi, atau satu titik dihubungkan ke bumi melalui suatu impedans.

Huruf Kedua : Hubungan BKT instalasi ke bumi.

T = Hubungan listrik langsung BKT ke bumi, yang tidak tergantung pembumian setiap titik tenaga listrik.

N = Hubungan listrik langsung BKT ke titik yang dibumikan dari sistem tenaga listrik (dalam sistem AC, titik yang dibumikan biasanya titik netral, atau penghantar phasa jika titik netral tidak ada).

Huruf Berikutnya (jika ada) : Susunan penghantar netral dan proteksi.

S = Fungsi proteksi yang diberikan oleh penghantar yang terpisah dari netral atau dari saluran yang dibumikan (dalam sistem AC, phasa yang dibumikan).

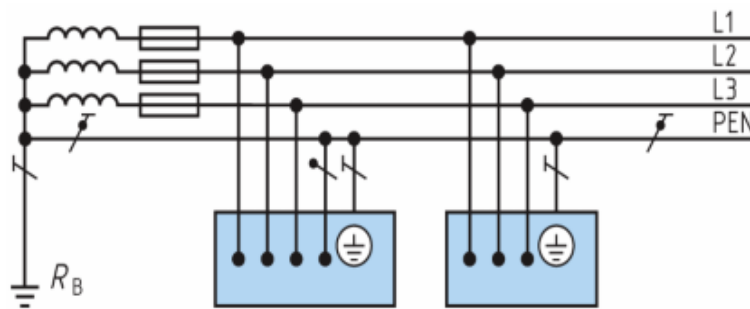
C = Fungsi netral dan fungsi proteksi tergabung dalam penghantar tunggal (penghantar PEN).

5. Persyaratan Umum Instalasi Listrik 2000. Hal 45 - 46

7. Sumardjati, Prih dkk. *Teknik Pemanfaatan Tenaga Listrik Jilid 1*. Hal 159 – Hal 160

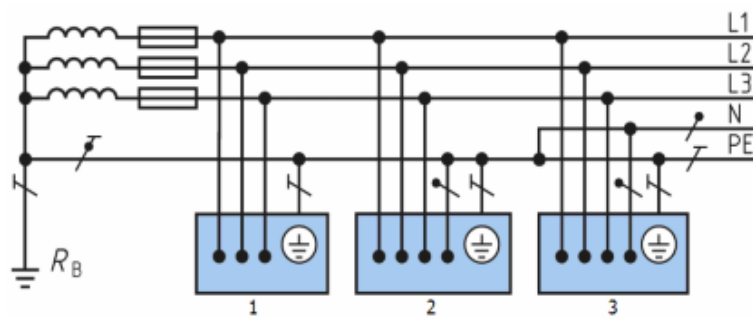
Ada tiga macam skema pentanahan netral sistem daya, yaitu :^[7]

1. TN (*Terra Neutral*) System, terdiri dari 3 jenis skema, yaitu:
 - a. TN-C (*Terra Neutral-Combined*), pada sistem ini saluran netral dan saluran pengaman disatukan pada sistem secara keseluruhan. Semua bagian sistem mempunyai saluran PEN yang merupakan kombinasi antara saluran N dan PE. Disini seluruh bagian sistem mempunyai saluran PEN yang sama.



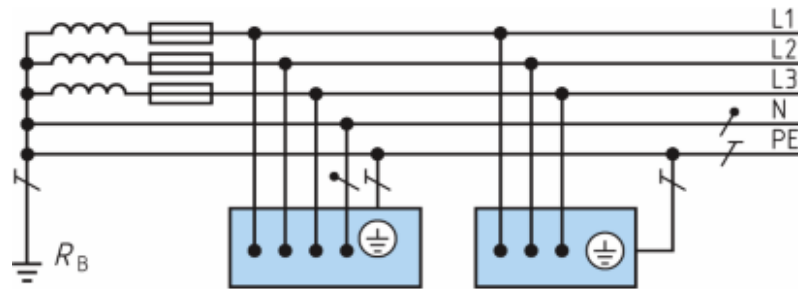
Gambar 2.6 Saluran Tanah dan Netral disatukan (TN-C)

- b. TN-C-S (*Terra Neutral-Combined-Separated*), pada sistem ini saluran netral dan saluran pengaman dijadikan satu saluran pada sebagian sistem dan terpisah pada sebagian sistem yang lain. Di sini terlihat bahwa sistem 1 dan 2 mempunyai satu hantaran PEN (*combined*). Sedangkan pada bagian sistem 3 menggunakan dua hantaran, N dan PE secara terpisah (*separated*).



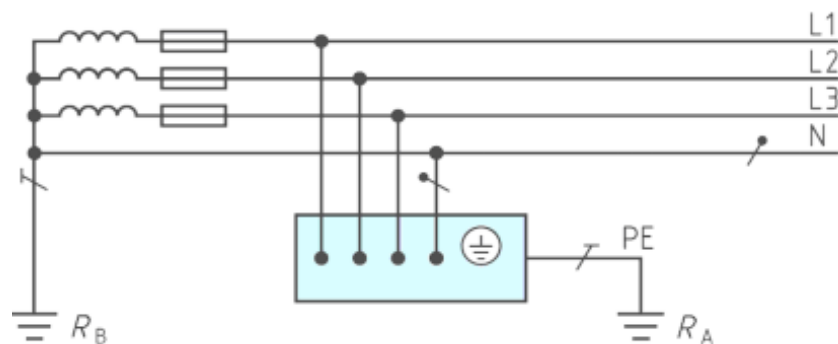
Gambar 2.7 Saluran Tanah dan Netral disatukan pada sebagian sistem (TN-C-S)

- c. TN-S (*Terra Neutral-Separated*), pada sistem ini saluran netral dan saluran pengaman terdapat pada sistem secara keseluruhan jadi semua sistem mempunyai dua saluran N dan PE secara tersendiri (*separated*).



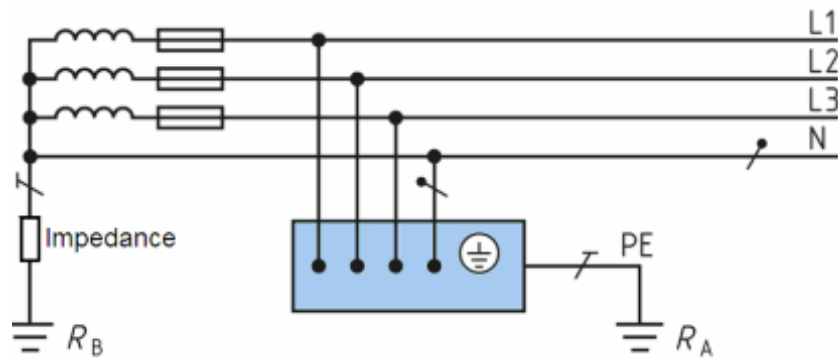
Gambar 2.8 Saluran Tanah dan Netral dipisah (TN-S)

2. TT (*Terra Terra*), Sistem yang titik netralnya disambung langsung ke tanah, namun bagian-bagian instalasi yang konduktif disambungkan ke elektroda pentanahan yang berbeda (berdiri sendiri). Dari gambar di bawah ini terlihat bahwa pentanahan peralatan dilakukan melalui sistem pentanahan yang berbeda dengan pentanahan titik netral.



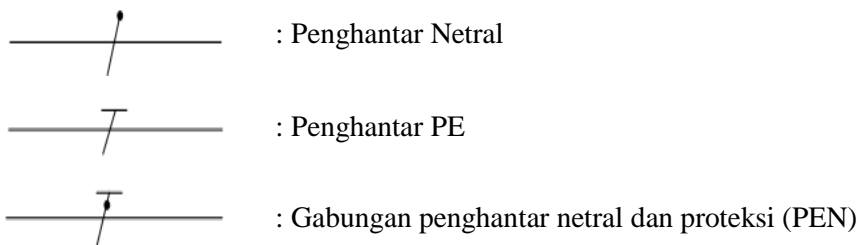
Gambar 2.9 Saluran Tanah Sistem dan Saluran Bagian Sistem Terpisah (TT)

3. IT (*Impedance Terra*), sistem rangkaian tidak mempunyai hubungan langsung ke tanah namun melalui suatu impedansi, sedangkan bagian bagian konduktif instalasi dihubung langsung ke elektroda pentanahan secara terpisah. Sistem ini juga disebut sistem pentanahan impedansi. Ada beberapa jenis sambungan titik netral secara tidak langsung ini, yaitu melalui reaktansi, tahanan, dan kumparan petersen. Antara ketiga jenis media sambungan ini mempunyai kelebihan dan kekurangan. Namun, secara teknis jenis sambungan kumparan petersen yang mempunyai kinerja terbaik. Permasalahannya adalah harganya mahal.



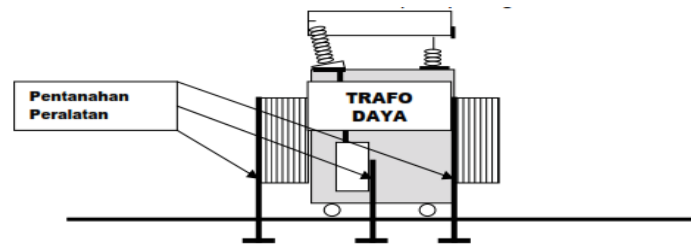
Gambar 2.10 Saluran Tanah melalui Impedansi (IT)

Keterangan lambang adalah sebagai berikut :



2.5 Pentanahan Peralatan^[2]

Pentanahan peralatan adalah pentanahan bagian dari peralatan yang pada kerja normal tidak dilalui arus. Bila terjadi hubung singkat suatu penghantar dengan suatu peralatan, maka akan terjadi beda potensial (tegangan), yang dimaksud peralatan disini adalah bagian-bagian yang bersifat konduktif yang pada keadaan normal tidak bertegangan seperti bodi trafo, bodi PMT, bodi PMS, bodi motor listrik, dudukan baterai dan sebagainya. Bila seseorang berdiri ditanah dan memegang peralatan yang bertegangan, maka akan ada arus yang mengalir melalui tubuh orang tersebut yang dapat membahayakan. Untuk menghindari hal ini maka peralatan tersebut perlu ditanahkan. Pentanahan yang demikian disebut Pentanahan peralatan, sebagai contoh pemasangan ditunjukkan seperti pada gambar 2.11 dibawah :



Gambar 2.11 Contoh Pemasangan Pentanahan Peralatan

Selain tegangan sentuh tidak langsung ada dua potensi bahaya sengatan listrik yang dapat diamankan melalui pentanahan ini, yaitu tegangan langkah dan tegangan eksposur.^[7]

Tujuan pentanahan peralatan adalah sebagai berikut :^[3]

1. Untuk membatasi tegangan antara bagian-bagian peralatan yang tidak dilalui arus dan antara bagian-bagian ini dengan tanah sampai pada suatu harga yang aman (tidak membahayakan) untuk semua kondisi operasi normal atau tidak normal. Untuk mencapai tujuan ini, suatu sistem pentanahan peralatan atau instalasi dibutuhkan. Sistem pentanahan ini gunanya ialah untuk memperoleh potensial yang merata (uniform) dalam semua bagian struktur dan peralatan, dan juga untuk menjaga agar operator atau orang yang berada di daerah instalasi itu berada pada potensial yang sama dan tidak berbahaya pada setiap waktu. Dengan dicapainya potensial yang hampir merata pada semua titik dalam daerah sistem pentanahan ini, kemungkinan timbulnya perbedaan potensial yang besar pada jarak yang dapat dicapai manusia sewaktu terjadi hubung singkat kawat ke tanah menjadi sangat kecil.
2. Untuk memperoleh impedansi yang kecil/rendah dari jalan balik arus hubung singkat ke tanah. Kecelakaan pada personil timbul pada saat hubung singkat ke tanah terjadi. Jadi bila arus hubung singkat ke tanah itu dipaksakan mengalir melalui impedansi tanah yang tinggi, ini akan menimbulkan perbedaan potensial yang besar dan berbahaya. Juga impedansi yang besar pada sambungan-sambungan pada rangkaian pentanahan dapat menimbulkan busur listrik dan pemanasan yang besarnya cukup menyalakan material yang mudah terbakar.

3. Hutaaruk, T.S. 1991. *Pengetanahan Netral Sistem Tenaga & Pengetanahan Peralatan*. Hal 125 – Hal 126

7. Sumardjati, Prih dkk. *Teknik Pemanfaatan Tenaga Listrik Jilid 1*. Hal 163



2.6 Sistem Pentanahan Arrester^[6]

Karena pentingnya fungsi arrester dalam sistem koordinasi isolasi pada instalasi tenaga listrik, maka pemasangan alat ini harus betul-betul memenuhi persyaratan teknis. Arrester berfungsi mengalirkan arus lebih ke tanah apabila terjadi gangguan petir maupun *over voltage*, maka sistem pentanahannya harus memenuhi standar yang ditentukan. Dalam prakteknya, 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 .

2.7 Menghitung Tahanan Tanah^[1]

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. Rumus yang biasa digunakan untuk pasak tunggal dikembangkan oleh Professor H.B. Dwight dari Institut Teknologi Massachusetts yaitu :

$$R = \frac{\rho}{2\pi L} \left[\ln \left(\frac{4L}{a} \right) - 1 \right] \dots\dots\dots \text{(Pers. 2.1)}$$

Dimana :

ρ = tahanan jenis tanah (Ohm-cm)

L = panjang elektroda pentanahan (cm)






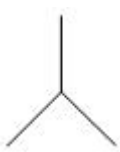

a = jari-jari penampang elektroda pentanahan (cm)

R = tahanan elektroda pentanahan (Ohm)


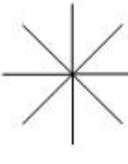

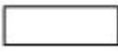

1. A S, Pabla & Ir. Abdul Hadi. 1991, *Sistem Distribusi Tenaga Listrik*. Hal 158 – Hal 159

6. Samaullah, Hazairin. 2004. *Dasar-dasar Sistem Proteksi Tenaga Listrik*. Hal 88

Tabel 2.2 Rumus-rumus Pendekatan Untuk Menghitung Tahanan Tanah.^[3]

No	Gambar	Konfigurasi	Rumus
1.		Satu batang tanah, panjang L, radius a	$R = \frac{\rho}{2\pi L} \left[\ln\left(\frac{4L}{a}\right) - 1 \right]$
2.		Dua batang tanah s > L ; jarak s	$R = \frac{\rho}{4\pi L} \left[\ln\left(\frac{4L}{a}\right) - 1 \right] + \frac{\rho}{4\pi s} \left(1 - \frac{L^2}{3s^2} + \frac{2L^4}{5s^4} \dots \right)$
3.		Dua batang tanah s < L ; jarak s	$R = \frac{\rho}{4\pi L} \left[\ln\left(\frac{4L}{a}\right) + \ln\left(\frac{4L}{s}\right) - 2 + \frac{s}{2L} - \frac{s^2}{16L^2} + \frac{s^4}{512L^4} \dots \right]$
4.		Kawat horizontal, panjang 2L, dalam s/2	$R = \frac{\rho}{4\pi L} \left[\ln\left(\frac{4L}{a}\right) + \ln\left(\frac{4L}{s}\right) - 2 + \frac{s}{2L} - \frac{s^2}{16L^2} + \frac{s^4}{512L^4} \dots \right]$
5.		Kawat siku-siku, panjang lengan L, dalam s/2	$R = \frac{\rho}{4\pi L} \left[\ln\left(\frac{2L}{a}\right) + \ln\left(\frac{2L}{s}\right) - 0,2373 + 0,2146\left(\frac{s}{L}\right) + 0,1035\left(\frac{s^2}{L^2}\right) - 0,0424\left(\frac{s^4}{L^4}\right) \dots \right]$
6.		Tiga titik bintang, panjang lengan L, dalam s/2	$R = \frac{\rho}{6\pi L} \left[\ln\left(\frac{2L}{a}\right) + \ln\left(\frac{2L}{s}\right) + 1,071 - 0,209\left(\frac{s}{L}\right) + 0,238\left(\frac{s^2}{L^2}\right) - 0,054\left(\frac{s^4}{L^4}\right) \dots \right]$
7.		Empat titik bintang, panjang lengan L, dalam s/2	$R = \frac{\rho}{8\pi L} \left[\ln\left(\frac{2L}{a}\right) + \ln\left(\frac{2L}{s}\right) + 2,912 - 1,071\left(\frac{s}{L}\right) + 0,645\left(\frac{s^2}{L^2}\right) - 0,145\left(\frac{s^4}{L^4}\right) \dots \right]$

Lanjutan Tabel 2.2 Rumus-rumus Pendekatan Untuk Menghitung Tahanan Tanah.

No	Gambar	Konfigurasi	Rumus
8.		Enam titik bintang, panjang lengan L, dalam s/2	$R = \frac{\rho}{12\pi L} \left[\ln\left(\frac{2L}{a}\right) + \ln\left(\frac{2L}{s}\right) + 6,851 - 3,128\left(\frac{s}{L}\right) + 1,758\left(\frac{s^2}{L^2}\right) - 0,490\left(\frac{s^4}{L^4}\right) \dots \right]$
9.		Delapan titik bintang, panjang lengan L, dalam s/2	$R = \frac{\rho}{16\pi L} \left[\ln\left(\frac{2L}{a}\right) + \ln\left(\frac{2L}{s}\right) + 10,98 - 5,51\left(\frac{s}{L}\right) + 3,26\left(\frac{s^2}{L^2}\right) - 1,17\left(\frac{s^4}{L^4}\right) \dots \right]$
10.		Cincin kawat, diam cincin D, diam kawat Rd, dalam s/2	$R = \frac{\rho}{2\pi^2 D} \left[\ln\left(\frac{8D}{d}\right) + \ln\left(\frac{4D}{s}\right) \right]$
11.		Pelat horizontal, panjang 2L, axb $\frac{a}{8}$ dalam s/2	$R = \frac{\rho}{4\pi L} \left[\ln\left(\frac{4L}{a}\right) + \frac{a^2 - \pi ab}{2(a+b)^2} + \ln\left(\frac{4L}{s}\right) - 1 + \left(\frac{s}{2L}\right) - \left(\frac{s^2}{16L^2}\right) + \left(\frac{s^4}{512L^4}\right) \dots \right]$
12.		Pelat bundar horizontal, radius a, dalam s/2	$R = \frac{\rho}{8a} + \frac{\rho}{4\pi s} \left[1 - \frac{7a^2}{24s^2} + \frac{33a^4}{40s^4} \dots \right]$
		Pelat bundar vertikal, radius a, dalam s/2	$R = \frac{\rho}{8a} + \frac{\rho}{4\pi s} \left[1 + \frac{7a^2}{24s^2} + \frac{99a^4}{320s^4} \dots \right]$

2.8 Elektroda Pentanahan dan Tahanan Pentanahan^[7]

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 200 m dan di setiap konsumen. Tahanan pentanahan satu elektroda di dekat



sumber listrik, transformator atau jaringan saluran udara dengan jarak 200 m maksimum adalah 10 Ohm dan tahanan pentanahan dalam suatu sistem tidak boleh lebih dari 5 Ohm.

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 .^[7]

- Bentuk elektroda. Ada bermacam-macam bentuk elektroda yang banyak digunakan, seperti jenis batang, pita dan pelat.
- 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.
- 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.
- Kedalaman 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.
- Faktor-faktor alam. Jenis tanah: tanah gembur, berpasir, berbatu, dan lain-lain. moisture tanah. semakin tinggi kelembaban 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.

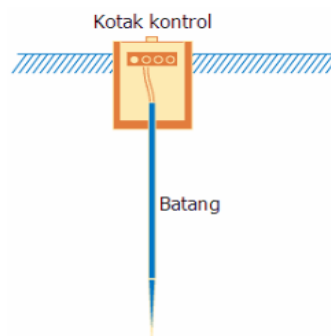


2.9 Jenis-jenis Elektroda Pentanahan^[7]

Pada prinsipnya jenis elektroda dipilih yang mempunyai kontak sangat baik terhadap tanah. Berikut ini akan dibahas jenis-jenis elektroda pentanahan dan rumus-rumus perhitungan tahanan pentanahannya.

a. Elektroda Batang (Rod)

Elektroda batang ialah 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 di gardu induk-gardu induk. Secara teknis, elektroda batang ini mudah pemasangannya, yaitu tinggal memancangkannya ke dalam tanah. Di samping itu, elektroda ini tidak memerlukan lahan yang luas.



Gambar 2.12 Elektroda Batang

Contoh rumus tahanan pentanahan untuk elektroda batang tunggal :

$$R_G = R_R = \frac{\rho}{2\pi L_R} \left[\ln \left(\frac{4L_R}{A_R} \right) - 1 \right] \dots\dots\dots \text{(Pers. 2.2)}$$

Dimana :

$R_G = R_R$ = Tahanan pentanahan untuk batang tunggal (Ohm)

ρ = Tahanan jenis tanah (Ohm-meter)

L_R = Panjang elektroda (meter)

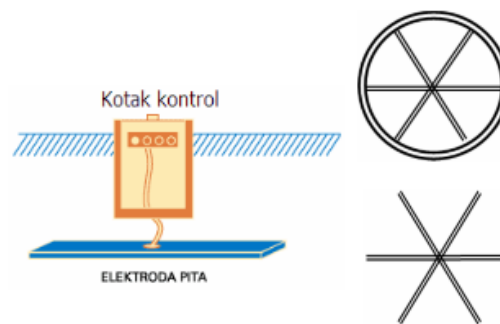
A_R = Diameter elektroda (meter)



b. Elektroda Pita

Elektroda pita ialah elektroda yang terbuat dari hantaran berbentuk pita atau berpenampang bulat atau hantaran pilin yang pada umumnya ditanam secara dangkal. Kalau pada elektroda jenis batang, pada umumnya ditanam secara dalam. Pemancangan ini akan bermasalah apabila mendapati lapisan-lapisan tanah yang berbatu, disamping sulit pemancangannya, untuk mendapatkan nilai tahanan yang rendah juga bermasalah. Ternyata sebagai pengganti pemancangan secara vertikal ke dalam tanah, dapat dilakukan dengan menanam batang hantaran secara mendatar (horisontal) 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 2.13 Elektroda Pita dalam Beberapa Konfigurasi

Contoh rumus perhitungan tahanan pentanahan :

$$R_G = R_W = \frac{\rho}{\pi L_W} \left[\ln \left(\frac{2 L_W}{\sqrt{d_W Z_W}} \right) + \frac{1,4 L_W}{\sqrt{A_W}} - 5,6 \right] \dots\dots\dots (\text{Pers. 2.3})$$

Dimana :

$R_G = R_W$ = 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)

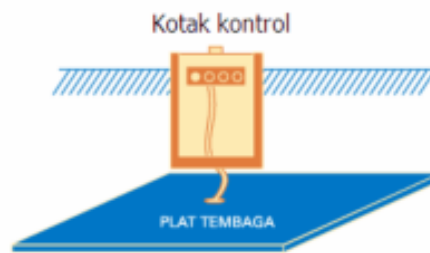
Z_W = Kedalaman penanaman (meter)

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



c. Elektroda Pelat

Elektroda pelat ialah elektroda dari bahan pelat logam (utuh atau berlubang) atau dari kawat kasa. Pada umumnya elektroda ini ditanam dalam. Elektroda ini digunakan bila diinginkan tahanan pentanahan yang kecil dan sulit diperoleh dengan menggunakan jenis-jenis elektroda yang lain.



Gambar 2.14 Elektroda Pelat

Contoh rumus perhitungan tahanan pentanahan elektroda pelat tunggal :

$$R_G = R_P = \frac{\rho}{2\pi L_P} \left[\ln \left(\frac{8 W_P}{\sqrt{0,5 W_P + T_P}} \right) - 1 \right] \dots\dots\dots \text{(Pers. 2.4)}$$

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)

2.10 Tahanan Jenis Tanah^[7]

Tahanan jenis tanah sangat menentukan tahanan pentanahan dari elektroda-elektroda pentanahan. Tahanan jenis tanah diberikan dalam satuan Ohm-meter. Dalam bahasan di sini menggunakan satuan Ohm-meter, yang merepresentasikan tahanan tanah yang diukur dari tanah yang berbentuk kubus yang bersisi 1 meter.

Harga tahanan jenis tanah pada daerah kedalaman yang terbatas tergantung dari beberapa faktor, yaitu jenis tanah, lapisan tanah, kelembaban tanah, dan temperatur.^[2]

2. Aslimeri, dkk. 2008. *Teknik Transmisi Tenaga Listrik Jilid 2*. Hal 262
7. Sumardjati, Prih dkk. *Teknik Pemanfaatan Tenaga Listrik Jilid 1*. Hal 170



Harga tahanan jenis selalu bervariasi sesuai dengan keadaan pada saat pengukuran. Makin tinggi suhu makin tinggi tahanan jenisnya. Sebaliknya makin lembab tanah itu makin rendah tahanan jenisnya.

Tabel 2.3 Tahanan Jenis Tanah^[5]

Jenis Tanah	Tahanan Jenis (Ωm) [*]
Tanah Rawa	30
Tanah Liat dan Tanah Ladang	100
Pasir Basah	200
Kerikil Basah	500
Pasir dan Kerikil Kering	1000
Tanah Berbatu	3000

*Catatan : Nilai Tahanan Jenis Tanah dalam Tabel 2.3 adalah nilai tipikal

Pengetahuan ini sangat penting khususnya bagi para perancang sistem pentanahan. Sebelum melakukan tindakan lain, yang pertama untuk diketahui terlebih dahulu adalah sifat-sifat tanah di mana akan dipasang elektroda pentanahan untuk mengetahui tahanan jenis pentanahan. Apabila perlu dilakukan pengukuran tahanan tanah. Namun perlu diketahui bahwa sifat-sifat tanah bisa jadi berubah-ubah antara musim yang satu dan musim yang lain. Hal ini harus betul-betul dipertimbangkan dalam perancangan sistem pentanahan. Bila terjadi hal semacam ini, maka yang bisa digunakan sebagai patokan adalah kondisi kapan tahanan jenis pentanahan yang tertinggi. Ini sebagai antisipasi agar tahanan pentanahan tetap memenuhi syarat pada musim kapan tahanan jenis pentanahan tinggi, misalnya ketika musim kemarau.^[7]

Kita sering mencoba untuk merubah komposisi kimia tanah dengan memberikan garam pada tanah dekat elektroda pentanahan dengan maksud untuk mendapatkan tahanan jenis tanah yang rendah. Cara ini hanya baik untuk sementara sebab proses penggaraman harus dilakukan secara priodik, sedikitnya enam bulan sekali. Dengan memberi air atau membasahi tanah juga dapat mengubah tahanan jenis tanah.^[2]

2. Asimieri, dkk. 2008. *Teknik Transmisi Tenaga Listrik Jilid 2*. Hal 262

5. Persyaratan Umum Instalasi Listrik 2000. Hal 80

7. Sumardjati, Prih dkk. *Teknik Pemanfaatan Tenaga Listrik Jilid 1*. Hal 170



2.11 Tahanan Pentanahan Berdasarkan Jenis dan Ukuran Elektroda

Tabel 2.4 berikut ini dapat digunakan sebagai acuan kasar harga tahanan pentanahan pada tanah dengan tahanan jenis tanah tipikal berdasarkan jenis dan ukuran elektroda.

Tabel 2.4 Tahanan Pentanahan pada Tanah dengan Tahanan Jenis $\rho_1 = 100 \Omega\text{m}$ ^[5]

Jenis elektroda	Pita atau hantaran pilin				Batang atau pipa				Pelat vertikal 1 m di bawah permukaan tanah dalam m ²	
	Panjang (m)				Panjang (m)					
	10	25	50	100	1	2	3	4	0,5x1	1x1
Tahanan pentanahan	20	10	5	3	70	40	30	20	35	25

Untuk tahanan jenis tanah yang lain, nilai tahanan pentanahan adalah nilai pentanahan dalam tabel dikalikan dengan faktor :

$$\frac{\rho}{\rho_1} = \frac{\rho}{100} \dots\dots\dots \text{(Pers. 2.5)}$$

2.12 Luas Penampang Elektroda Pentanahan^[7]

Ukuran elektroda pentanahan akan menentukan besar tahanan pentanahan. Berikut ini adalah tabel yang memuat ukuran-ukuran elektroda pentanahan yang umum digunakan dalam sistem pentanahan.

Tabel 2.5 dibawah ini dapat digunakan sebagai petunjuk tentang pemilihan jenis, bahan dan luas penampang elektroda pentanahan.

5. Persyaratan Umum Instalasi Listrik 2000, Hal 81

7. Sumardjati, Prih dkk. *Teknik Pemanfaatan Tenaga Listrik Jilid 1*. Hal 170 & Hal 171



Tabel 2.5 Luas Penampang Minimum Elektroda Pentanahan

Bahan jenis elektroda	Baja digalvanisasi dengan proses pemanasan	Baja berlapis tembaga	Tembaga
Elektroda pita	Pita baja 100 m 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)
Elektroda batang	-Pipa baja 25 mm -Baja profil (mm) : L 65x65x7 U 6,5 T 6x50x3 -Batang profil lain yang setaraf	Baja berdiameter 15 mm dilapisi tembaga setebal 250µm	
Elektroda Pelat	Pelat besi setebal 3 mm luas 0,5 m ² sampai 1m ²		Pelat tembaga tebal 2 mm luas 0,5m ² sampai 1m ²

2.13 Alat Ukur Pentanahan

Dalam mengukur pentanahan tentunya diperlukan alat khusus untuk mengukur pentanahan. Terdapat berbagai macam alat ukur pentanahan ada yang analog maupun digital salah alat ukur pentanahan yang digunakan untuk mengukur tahanan pentanahan pada gardu induk bungen adalah Kyoritsu 4105A Digital Earth Resistance Tester. Kyoritsu 4105A Digital Earth Resistance Tester memiliki berbagai fitur diantaranya:

1. Dapat mengukur tegangan tanah.
2. Pengukuran arus 2mA membatasi pengetesan resistansi tanah dengan pengaman arus bocor pada rangkaian yang sedang diukur.
3. Test lead tersedia sebagai asesoris standar untuk sistem pengukuran sederhana dua kawat.
4. Fungsi data hold.
5. Pengoperasian dengan baterai.
6. Indikator tes baterai.
7. Standar IEC/EN 61010-1, IEC 61557-5 CAT III 300V.
8. Fungsi kalibrasi dengan test lead yang tersedia.



Berikut ialah contoh gambar dari Kyoritsu 4105A Digital Earth Resistance Tester.

Gambar 2.15



Gambar 2.15 Kyoritsu 4105A Digital Earth Resistance Tester

2.14 Langkah Kerja Pengukuran

Adapun langkah kerja pengukuran tahanan pentanahan pada gardu induk bungan adalah sebagai berikut :

1. Siapkan peralatan yang diperlukan.
2. Colokkan ujung kabel hijau yang berwarna hitam ke terminal E pada *Digital Earth Tester*, kemudian jepitkan ujung kabel hijau yang satunya ke elektroda utama (elektroda yang akan diukur). Dalam hal ini, elektroda utama telah tertanam di dalam tanah dan telah terhubung dengan kabel ke peralatan (*body transformer*, *lightning arrester*, atau panel tegangan rendah).
3. Tancapkan elektroda bantu pertama sejauh 5-10 meter dari elektroda utama (elektroda yang akan diukur).
4. Colokkan ujung kabel kuning yang berwarna hitam ke terminal P pada *Digital Earth Tester*, kemudian jepitkan ujung kabel kuning yang satunya ke elektroda bantu pertama.

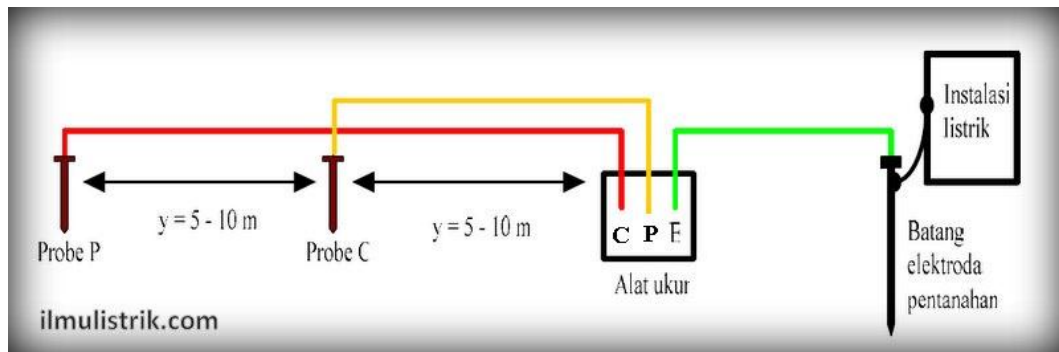


5. Tancapkan elektroda bantu kedua yang lainnya sejauh 5-10 meter dari elektroda bantu pertama. Atau sejauh 15-20 meter dari elektroda utama (elektroda yang akan diukur).
6. Colokkan ujung kabel merah yang berwarna hitam ke terminal C pada *Digital Earth Tester*, kemudian jepitkan ujung kabel merah yang satunya ke elektroda bantu kedua.
7. Setelah semua elektroda terhubung ke alat ukur, putar switch range alat ukur dari posisi “OFF” ke posisi 20 Ohm.
8. Tekan tombol “PRESS TO TEST” pada *Digital Earth Tester* untuk melihat nilai tahanan pentanahan yang terukur.
9. Putar tombol “PRESS TO TEST” ke arah *lock* untuk mengunci nilai tahanan pentanahan yang telah terukur. Pastikan lampu indikator telah menyala (hijau).
10. Lihat dan catat nilai tahanan pentanahan yang tampil pada *display* alat ukur.

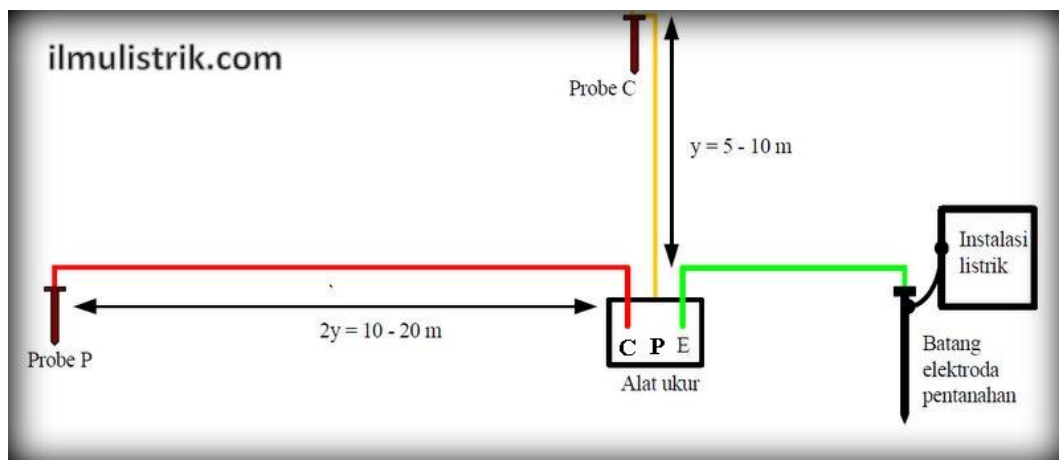
2.15 Konfigurasi Pengukuran Tahanan Pentanahan

Pengukuran tahanan pentanahan diperlukan untuk mengetahui berapa ohm nilai suatu tahanan grounding/ kawat pentanahan, apakah masih layak untuk digunakan atau perlu untuk diperbaiki. Dalam mengukur suatu tahanan pentanahan terdapat tiga konfigurasi pengukuran. Berikut ialah tahap – tahap pengukuran tahanan pentanahan dengan tiga konfigurasi:

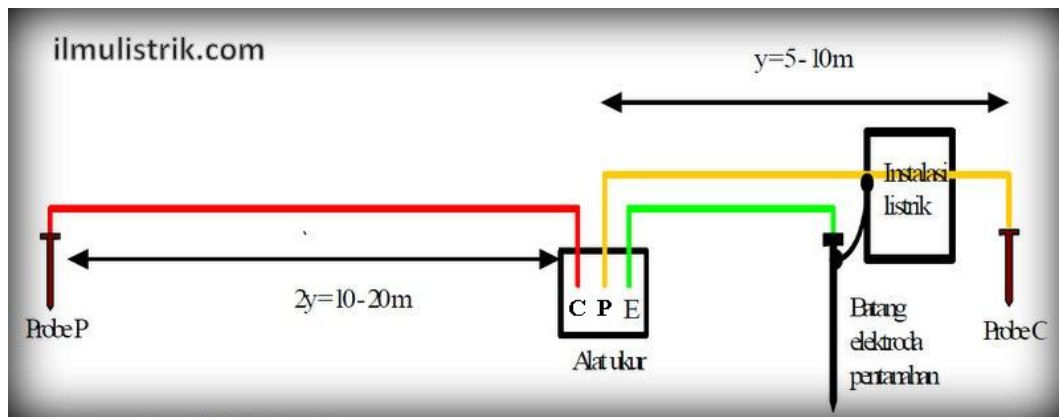
1. Hubungkan terminal E (hijau) ke kawat/kabel elektroda pentanahan peralatan yang akan diukur.
2. Tanamkan kedua elektroda alat ukur pentanahan terminal P (kuning) dan C (merah) pada dua titik dalam satu garis lurus dengan jarak P dan C dua kali jarak yang terdekat dari pentanahan peralatan yang akan diukur (misalnya E-P = y meter, maka E-c = 2y meter, jarak y berkisar 5-10 meter).

Gambar 2.16 Konfigurasi Pengukuran Dengan Sudut 0°

1. Arahkan selector switch ke batas ukur 20 ohm.
2. Tekan tombol press to test dan putar searah jarum jam.
3. Untuk pengukuran selanjutnya pindahkan probe P (kuning) sehingga tegak lurus terhadap kabel probe E dan C.

Gambar 2.17 Konfigurasi Pengukuran Dengan Sudut 90°

4. Ulangi langkah 3 dan 4.
5. Untuk pengukuran selanjutnya pindahkan probe P (kuning) sehingga berlawanan arah dengan kabel probe C.



Gambar 2.18 Konfigurasi Pengukuran Dengan Sudut 180°

1. Ulangi langkah 3 dan 4.
2. Nilai tahanan pentanahan akhir adalah nilai rata-rata dari ketiga konfigurasi tersebut.