

BAB II

TINJAUAN UMUM

2.1 Sistem Pentanahan

Sistem pentanahan merupakan suatu hubungan penghantar yang menghubungkan sistem, badan peralatan dan instalasi ke bumi/tanah sehingga dapat mengamankan manusia dari sengatan listrik, dan mengamankan komponen - komponen instalasi dari bahaya tegangan/ arus abnormal.^[1]

Penting bagi sistem pentanahan direncanakan dengan cermat untuk mencapai perlindungan yang andal dan aman, perlindungan ini akan menjamin pelayanan yang kontinyu dan jangka hidup peralatan akan bertambah panjang. Oleh karena itu, sistem pentanahan menjadi bagian fundamental dari sistem tenaga listrik.^[2]

Adapun tujuan sistem pentanahan secara umum adalah:

1. Menjamin keselamatan orang dari sengatan listrik baik dalam keadaan normal atau tidak dari tegangan sentuh dan tegangan langkahi;
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 ketika terjadi transien
6. Mengalihkan energi RF liar dari peralatan-peralatan seperti: audio, video, kontrol, dan komputer.^[1]

2.2 Syarat Sistem Pentanahan

Agar sistem pentanahan dapat bekerja secara efektif, sistem pentanahan harus memenuhi persyaratan-persyaratan sebagai berikut :

1. Membuat jalur resistansi rendah ke tanah untuk pengamanan personil dan peralatan menggunakan rangkain yang efektif.

^[1] Adiarta, Agus. 2017. *Dasar-dasar Instalasi*. Depok: PT Raja Grafindo Persada. Hal 21.

^[2] A S, Pabla & Ir. Abdul Hadi. 1991. *Sistem Distribusi Tenaga Listrik*. Jakarta: Erlangga. Hal 2-3.

^[11] Sumardjati, Prih dkk. *Teknik Pemanfaatan Tenaga Listrik Jilid 1*. Hal 150.

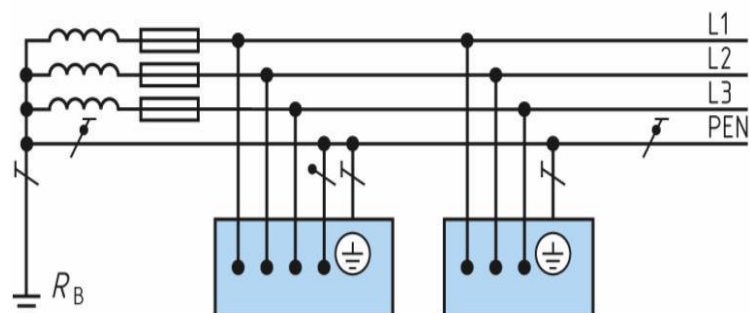
2. Dapat melawan dan menyebarkan gangguan berulang dan arus akibat surja hubung (surge currents).
3. Menggunakan bahan tahan korosi terhadap berbagai kondisi kimiawi tanah, untuk meyakinkan kontinuitas penampilannya sepanjang umur peralatan yang lindungi.
4. Menggunakan sistem mekanik yang kuat namun mudah dalam pelayanan.^[7]

2.3 Macam-Macam Sistem Pentanahan

Terdapat berbagai macam sistem pentanahan sistem. Antara satu dan lainnya mempunyai kelebihan dan kekurangan masing. Bahasan berikut ini tidak dimaksudkan membahas kekurangan dan kelebihan metoda tersebut, namun lebih menitikberatkan 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.

2.3.1 TN-C (*Terra Neutral-Combined*): Saluran Tanah dan Netral-Disatukan

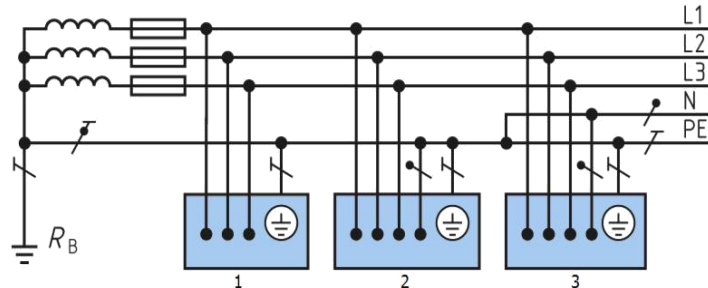
Pada sistem ini saluran netral dan saluran pengaman disatukan pada sistem secara keseluruhan. Semua bagian sistem mempunyai saluran PEN yang merupakan kombinasi antara saluran N dan PE. Disini seluruh bagian sistem mempunyai saluran.^[11]



Gambar 2.1 Saluran Tanah dan Netral disatukan (TN-C)

^[11] Sumardjati, Prih dkk. *Teknik Pemanfaatan Tenaga Listrik Jilid 1*. Hal 160-162

2.3.2 TN-C-S (*Terra Neutral-Combined-Separated*): Saluran Tanah dan Netral-disatukan dan dipisah

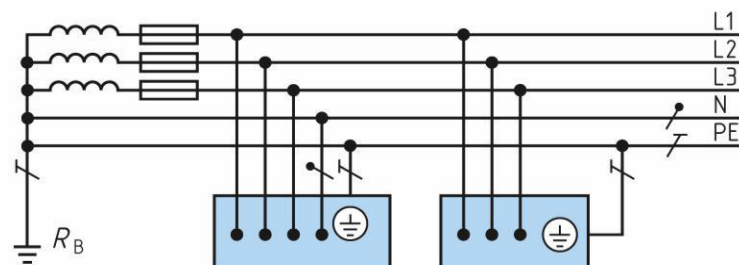


Gambar 2.2 Saluran Tanah dan Netral disatukan pada sebagian sistem (TN-C-S)

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*).^[11]

2.3.3 TN-S (*Terra Neutral-Separated*): Saluran Tanah dan Netral-dipisah

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*).^[11]

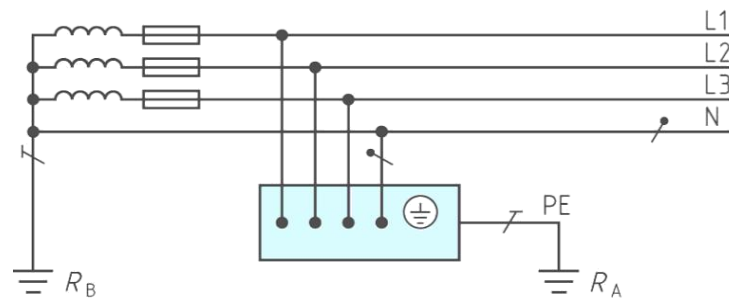


Gambar 2.3 Saluran Tanah dan Netral dipisah (TN-S)

2.3.4 TT (*Terra Terra*) System: Saluran Tanah dan Tanah

Sistem yang titik netralnya disambung langsung ke tanah, namun bagian-bagian instalasi yang konduktif disambungkan ke elektroda pentanahan yang berbeda (berdiri sendiri). Gambar di bawah ini terlihat bahwa pentanahan peralatan pentanahan dilakukan melalui sistem pentanahan yang berbeda dengan pentanahan titik netral.^[11]

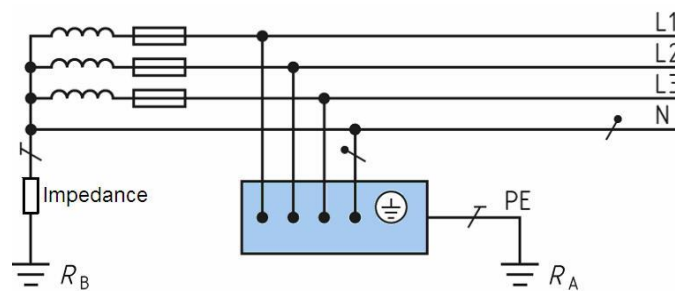
^[11] Sumardjati, Prih dkk. *Teknik Pemanfaatan Tenaga Listrik Jilid 1*. Hal 162-164



Gambar 2.4 Saluran Tanah Sistem dan Saluran Bagian Sistem Terpisah (TT)

2.3.5 IT (*Impedance Terra*) System: Saluran Tanah melalui Impedansi

Sistem rangkaian tidak mempunyai hubungan langsung ke tanah namun melalui suatu impedansi, sedangkan bagian konduktif instalasi dihubungkan 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 yang mahal.^[11]



Gambar 2.5 Saluran Tanah Melalui Impedansi (IT)

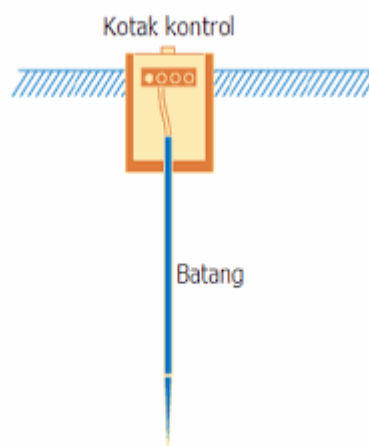
2.4 Komponen Sistem Pentanahan

2.4.1 Elektroda Pentanahan

Pada prinsipnya jenis elektroda dipilih yang mempunyai kontak sangat baik terhadap tanah. Berikut ini penjelasan mengenai jenis-jenis elektroda pentanahan :

^[11] Sumardjati, Prih dkk. *Teknik Pemanfaatan Tenaga Listrik Jilid 1*. Hal 164-165

1. 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. 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. ^[11]

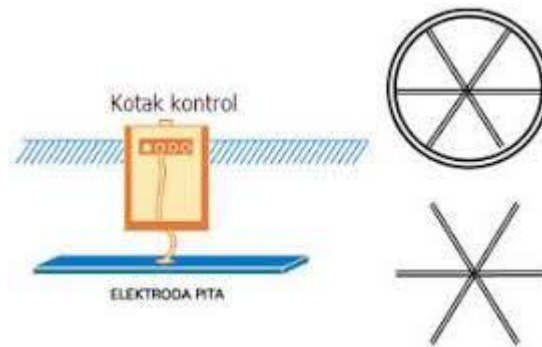


Gambar 2.6 Elektroda Batang (Rod)

2. Elektroda Pita, yaitu 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. Pemasangan ini akan bermasalah apabila mendapati lapisan-lapisan tanah yang berbatu, disamping sulit pemasangannya, untuk mendapatkan nilai tahanan yang rendah juga bermasalah. Ternyata sebagai pengganti pemasangan secara vertikal ke dalam tanah, dapat dilakukan dengan menanam batang hantaran secara mendatar (horizontal) dan dangkal. Di samping kesederhanaannya itu, ternyata tahanan pentanahan yang dihasilkan

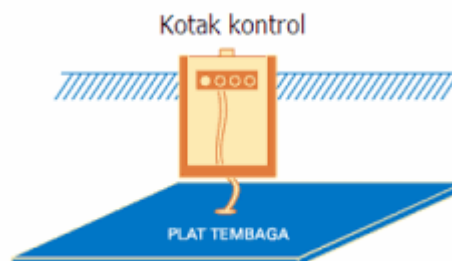
^[9] Sumardjati, Prih dkk. *Teknik Pemanfaatan Tenaga Listrik Jilid 1*. Hal 171-172

sangat dipengaruhi oleh bentuk konfigurasi elektrodanya, seperti dalam bentuk melingkar, radial atau kombinasi antar keduanya.^[11]



Gambar 2.7 Elektroda Pita dan Konfigurasinya

3. Elektroda Pelat, yaitu 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.^[11]



Gambar 2.8 Elektroda Pelat

4. Jenis Elektroda Lain, seperti^[7] :
 - Jika jaringan pipa air minum dari logam dipakai sebagai elektrode bumi, maka harus diperhatikan bahwa resistans pentanahannya dapat menjadi besar akibat digunakannya pipa sambungan atau flens dari bahan isolasi.

^[7] Persyaratan Umum Instalasi Listrik (PUIL) 2000.

^[11] Sumardjati, Prih dkk. *Teknik Pemanfaatan Tenaga Listrik Jilid 1*. Hal 175-176

Resistans pentanahan 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 mm² , atau dengan pita baja digalvanisasi dengan ukuran minimum 25 mm² (tebal pita minimum 3 mm).
- Selubung logam kabel yang tidak dibungkus dengan bahan isolasi yang langsung ditanam dalam tanah boleh dipakai sebagai elektrode bumi, jika selubung logam tersebut dikedua sisi sambungan yang dihubungkan dengan penghantar yang konduktivitas minimalnya sama dengan selubung logam tersebut dan luas penampang penghantar itu minimal sebagai berikut :
 - a. 4 mm² tembaga untuk kabel dengan penampang inti sampai 6 mm²;
 - b. 10 mm² tembaga untuk kabel dengan penampang inti 10 mm² atau lebih.^[6]

Tabel 2.1 Ukuran Minimum Elektroda Bumi^[7]

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		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)

^[7] Persyaratan Umum Instalasi Listrik (PUIL) 2000.

2	Elektroda Batang	- Pipa baja 25 mm - Baja profil (mm) L 65 x 65 x 7 U 6,5 T 6 x 50 x 3 - Batang profil lain yang setaraf	Baja berdiameter 15 mm dilapisi tembaga setebal 250 μm	
3	Elektroda Pelat	Pelat besi tebal 3 mm luas 0,5 m ² sampai 1 m ²		Pelat tembaga tebal 2 mm luas 0,5 m ² sampai 1 m ²

Sumber: Persyaratan Umum Instalasi Listrik (PUIL) 2000.

2.4.2 Hantaran Penghubung

Hantaran Penghubung adalah suatu komponen yang terbuat dari bahan konduktor, seperti tembaga dan metal yang berfungsi sebagai penghubung antara kutub pentanahan dengan terminal, hantaran ini biasanya berupa kawat tembaga pilin atau BC draad dengan diameter minimal 16 mm².i semua sistem mempunyai dua saluran N dan PE secara tersendiri (*separated*).^[4]



Gambar 2.9 Kawat BC

^[4] Grounding Penangkal Petir. 2019. *Grounding System*.

2.4.3 Terminal Pentanahan

Hantaran Penghubung adalah terminal atau titik dimana kita hubungkan dengan perangkat kita. Biasanya berupa lempeng tembaga cukup panjangnya 15 cm, lebar 3 cm dan tebal 1 cm.^[4]



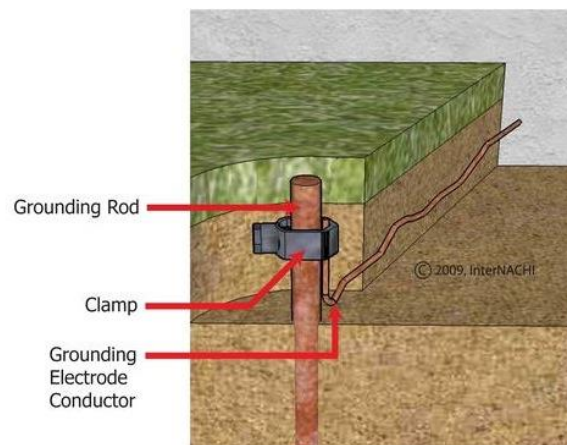
Gambar 2.10 Terminal Pentanahan

2.4.4 Ground Clamp

Ground Clamp adalah suatu komponen yang terbuat dari bahan konduktor seperti metal ataupun tembaga sebagai pengikat dan penghubung kawat penghantar ke pangkal elektroda.^[4]



(a)



(b)

Gambar 2.11 (a)Ground Clamp^[5] (b)Komponen Sistem Pentanahan^[5]

^[4] Grounding Penangkal Petir. 2019. *Grounding System*.



2.5 Tahanan Pentanahan

Seperti yang telah disampaikan di awal 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:^[11]

- a. **Bentuk elektroda.** Ada bermacam-macam bentuk elektroda yang banyak digunakan, seperti jenis batang, pita dan pelat.
- b. **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.
- c. **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.
- d. **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.
- e. **Faktor-faktor alam.** **Jenis tanah:** tanah gembur, berpasir, berbatu, dan lainlain; **moisture tanah:** semakin tinggi kelembaban atau kandungan air dalam tanah akan memperendah tahanan jenis tanah; **kandungan mineral tanah:** 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.

^[11] Sumardjati, Prih dkk. *Teknik Pemanfaatan Tenaga Listrik Jilid 1*. Hal 180.

2.6 Tahanan Jenis Tanah

Tahanan jenis tanah sangat menentukan tahanan pentanahan dari elektroda-elektroda pentanahan. Tahanan jenis tanah diberikan dalam satuan Ohm-meter, yang mempersentasikan tahanan tanah yang diukur dari tanah yang berbentuk kubus bersisi 1 meter. yang menentukan tahanan jenis tanah ini tidak hanya tergantung pada jenis tanah saja melainkan dipengaruhi oleh kandungan moister, kandungan mineral yang dimiliki dan suhu (suhu tidak berpengaruh bila di atas titik beku air). Oleh karena itu, tahanan jenis tanah bisa berbeda-beda dari satu tempat dengan tempat lain tergantung dari sifat-sifat yang dimilikinya. Sebagai pedoman kasar, tabel 2.2 ini berisikan tahanan jenis tanah yang ada di Indonesia.^[9]

Pengetahuan ini sangat penting khususnya bagi para perancang sistem pentanahan. Sebelum melaukakan tindakan lain, yang pertama untuk diketahui terlebih dahulu adalah sifat-sifat tanah dimana akan dipasang elektroda pentanahan untuk mengetahui tahanan jenis pentanahan 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.

Tabel 2.2 Resistansi Jenis Tanah

1	2	3	4	5	6	7
Jenis Tanah	Tanah Rawa	Tanah Liat dan Tanah Ladang	Pasir Basah	Kerikil Basah	Pasir dan Kerikil Kering	Tanah Berbatu
Resistansi Jenis (Ω -m)	30	100	200	500	1000	3000

Sumber: Persyaratan Umum Instalasi Listrik (PUIL) 2000.

^[9] Ratno, Wibowo dkk. *Buku I Kriteria Disain Enjineriing Kontruksi Jaringan Distribusi Tenaga Listrik*. Jakarta Selatan: PT. PLN (Persero). Hal 160-162.

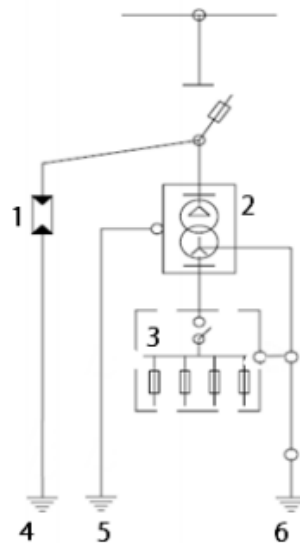
2.7 Sistem Pentanahan Pada Gardu Distribusi

Bagian – bagian yang dibumikan pada gardu distribusi adalah:^[2]

- Terminal netral sekunder transformator
- *Lightning Arrester* (LA)
- Bagian konduktif terbuka, seperti PHB-TR dan *Body* transformator

Elektroda pentanahan LA terpisah dengan elektroda pentanahan titik netral transformator. Untuk menghindari kerusakan maupun pencurian, penghantar pentanahan harus dilindungi dengan pipa galvanis $\frac{3}{4}$ inch, setinggi 3 meter dari permukaan tanah.

Penghantar pentanahan menggunakan kawat tembaga (BC) berukuran 50 mm² dan elektroda pentanahan memakai elektroda batang sepanjang minimal 3 meter dengan minimal 20 cm ditanam ke dalam tanah.



Gambar 2.12 Contoh Diagram Satu Garis Sistem Pentanahan di Gardu Portal

Keterangan gambar 2.12 :

1. LA (*Lightning Arrester*)
2. Transformator

^[2] A S, Pabla & Ir. Abdul Hadi. 1991. *Sistem Distribusi Tenaga Listrik*. Jakarta: Erlangga. Hal 32.



3. PHB – TR
4. Sistem Pentanahan LA
5. Sistem Pentanahan *Body* Transformator
6. Sistem Pentanahan Netral Sekunder Transformator & PHB-T

2.8 Menghitung Tahanan Pentanahan

Berikut rumus pendekatan yang biasa digunakan untuk elektroda batang dikembangkan oleh *Prof. H.B Dwight dari Institut Teknologi Massachusetts*.^[2]

1. Satu batang elektroda ;

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

2. Dua batang elektroda ;

$$R = \frac{\rho}{2\pi L} \left(\ln \frac{4L}{a} - 1 \right) + \frac{\rho}{4\pi L} \left(1 - \frac{L^2}{3S^2} + \frac{2L^4}{5S^4} \right) \dots \dots \dots (2.2)$$

Keterangan:

- ρ =Tahanan jenis tanah (ohm-cm)
- s = Jarak antar elektroda (cm)
- L = Kedalaman pemancangan elektroda (dari permukaan tanah sampai ujung elektroda) (cm)
- a = Jari-jari penampang elektroda atau pasak tanah (mm)
- R = Tahanan elektroda atau pasak ke tanah (ohm)

2.9 Tegangan Sentuh

Tegangan sentuh adalah tegangan yang diperoleh akibat tersentuhnya bagian aktif instalasi listrik. Bagian aktif instalasi listrik adalah bagian konduktif (line) yang adalah bagian dari rangkaian listrik. Hal yang menyebabkan arus mengalir pada saat tubuh bersentuhan dengan tegangan adalah pijakan kaki ke tanah, dimana tanah berfungsi sebagai hantaran nol yang terus dicari oleh energi listrik untuk membuang muatannya. Sementara disisi lain tubuh manusia memiliki nilai tahanan dan muatan listrik cenderung mencari jalan melalui nilai muatan yang kecil. Tegangan sentuh timbul antara dua bagian yang dapat tersentuh dengan serempak

^[2] A S, Pabla & Ir. Abdul Hadi.1991. *Sistem Distribusi Tenaga Listrik*. Jakarta: Erlangga. Hal 33.

karena terjadi kegagalan isolasi. Tegangan sentuh terbagi menjadi dua yaitu tegangan sentuh langsung dan tak langsung.

Tegangan sentuh dikatakan aman apabila nilai tegangan dibawah 50 V, kecuali pada tempat basah , ruang kerja dalam perindustrian, serta ruang kerja yang mensyaratkan adanya pengaman atau isolasi pengaman atau pemisah pengaman. Pada tempat seperti ini tegangan sentuh dikatakan aman jika dibawah 25 V. Rata-rata hambatan tubuh manusia adalah 1000 Ohm. Arus listrik maksimum yang dianggap aman untuk melewati tubuh manusia adalah 50mA, Berdasarkan penelitian dilapangan didapatkan nilai pentanahan yang di gardu distribusi menggunakan nilai tahanan (ohm), maka sebelumnya tahanan tersebut akan dikonversikan menjadi tegangan (volt) dihitung dengan persamaan (2.3).

1. Rumus Tegangan

$$V = I \times R \dots\dots\dots(2.3)$$

Keterangan:

I = Tegangan Gardu Distribusi (Data Terlampir di Tabel 3.3)

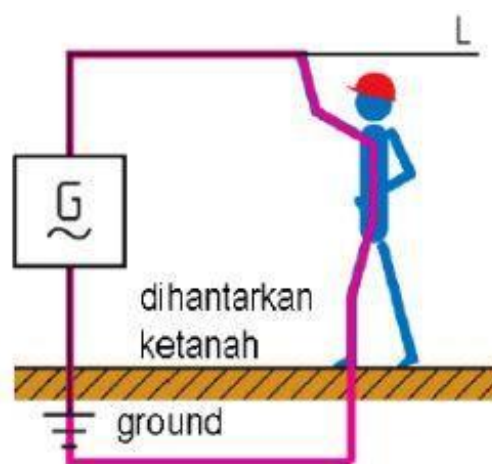
R= Tahanan Nilai Pentanahan Gardu Distribusi

2.9.1 Tegangan Sentuh Langsung

Disini tegangan sentuh langsung terjadi pada bagian aktif perlengkapan atau pada instalasi listrik Tegangan sentuh langsung adalah sentuhan pada bagian aktif perlengkapan atau instalasi listrik. Dimana bagian aktif perlengkapan atau instalasi listrik adalah bagian konduktif yang merupakan bagian dari sirkit listrik, yang dalam keadaan normal bertegangan. ^[3]

^[3] Eka Putra dan Fitra Angga. 2018. *Jurnal Surya Energy Vol. 3 No. 1*. Hal 220-227.

Seluruh bagian aktif perlengkapan atau instalasi harus diamankan terhadap bahaya tegangan sentuh langsung, contohnya menjauhkan perlengkapan/instalasi agar tidak mudah tersentuh, contoh lainnya adalah pada tempat yang mudah dijangkau oleh manusia diberikan isolasi pada penghantar aktif yang mengalirkan arus listrik, Untuk lebih jelas perhatikan gambar berikut. Rata-rata hambatan tubuh manusia adalah 1000 Ohm. Arus listrik maksimum yang dianggap aman untuk melewati tubuh manusia adalah 50mA berdasarkan hukum Ohm.^[7]



Gambar 2.13 Tegangan Sentuh Langsung

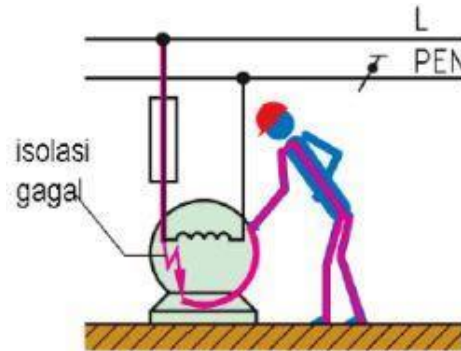
2.9.2 Tegangan Sentuh Tidak Langsung

Tegangan sentuh tidak langsung adalah sentuh pada bagian konduktif terbuka (BKT) perlengkapan atau instalasi yang dalam keadaan normal tidak bertegangan, tapi menjadi bertegangan dalam kondisi gangguan karena kegagalan isolasi. Ketika II-5 terjadi kegagalan isolasi, maka ada arus gangguan pada bagian konduktif terbuka yang dimana dapat berbahaya ketika terjadi kontak antara manusia dengan bagian konduktif terbuka yang terjadi kegagalan isolasi, Untuk lebih jelas perhatikan gambar berikut.^[3]

^[7] Nurcahyo Hajar Saputro, 2016. Hal 9.

^[3] Eka Putra dan Fitra Angga, 2018. *Jurnal Surya Energy Vol. 3 No. 1*. Hal 227.

Perlu digaris bawahi bahwa besarnya tegangan sentuh yang dianggap aman bagi manusia dipengaruhi oleh beberapa faktor, seperti lamanya tegangan kejut, tahanan jenis tanah, berat badan manusia dan probabilitas terjadinya *ventricular fibrillation*.



Gambar 2.14 Tegangan Sentuh Tidak Langsung

2.9.3 Tegangan sentuh maksimum yang diizinkan

Tegangan sentuh maksimum diizinkan diperoleh rumus sebagai berikut :

$$E_s = I_k (R_k + 1,5 \rho_s) \dots\dots\dots (2.4)$$

Keterangan:

E_s = Tegangan sentuh

I_k = Arus fibrilasi (0,164A)

R_k = Tahanan tubuh manusia (1000 Ω)

ρ_s = Tahanan jenis permukaan tanah yang diberi batu koral (3000 Ω .m)

Arus fibrilasi merupakan sebuah arus yang membahayakan tubuh manusia apabila arus tersebut sampai mempengaruhi otot manusia karena dapat menyebabkan orang pingsan atau dapat berujung kematian. Jumlah arus fibrilasi yang mengalir ke tubuh dapat dihitung dengan persamaan (2.5) berikut:

$$I_k \frac{k}{\sqrt{t}} = I_k \frac{0.116}{\sqrt{0.5}} : 0.164 \dots\dots\dots (2.5)$$

Keterangan:

I_k = Arus fibrilasi (A)

k = 0,116 A untuk berat badan 50 kg

\sqrt{t} = (0,5 detik) Lama gangguan tanah

Maka tegangan sentuh maksimum diizinkan yang diperoleh adalah

$$E_s = 0.164 (1000 + 1,5 (3000)) = 902 \text{ V}$$

Tabel dibawah menampilkan ketentuan berdasarkan lama gangguan tanah 0,5 detik tegangan sentuh maksimum diizinkan diperoleh tegangan 890 volt^[12], dalam perhitungan penelitian ini tegangan sentuh maksimum diizinkan di gardu distribusi dengan jenis tanah batu koral di PT. PLN (PERSRO) ULP Muara sabak yaitu 902 volt.

Tabel 2.3 Tegangan Sentuh dan waktu pemutusan maksimum

Gangguan Perdetik	Tegangan Sentuh Maksimum yang diizinkan
0.1	1980
0.2	1400
0.3	1140
0.4	990
0.5	890
1	626
2	443
3	362

Sumber: IEEE Tahun 2013

^[12] Standar IEEE (Institute of Electrical and Electronics Engineers). 2013.