



BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Umum

Salah satu faktor kunci dalam setiap pengamanan atau perlindungan rangkaian listrik baik keamanan bagi peralatan maupun keamanan bagi manusia adalah dengan cara menghubungkan bagian dari peralatan tersebut yaitu badan dari peralatan dengan sistem pentanahan. Pentanahan adalah penghubung suatu titik rangkaian listrik atau suatu penghantar yang bukan bagian dari rangkaian listrik dengan bumi menurut cara tertentu yang sesuai dengan PUIL (Peraturan Umum Instalasi Listrik) yang dipakai di Indonesia.

Pentanahan pada gardu-gardu distribusi bisa dilakukan dengan cara seperti dengan menanamkan batang-batang konduktor tegak lurus (vertikal) terhadap permukaan tanah atau dengan cara menanamkan batang-batang konduktor sejajar (horizontal) terhadap permukaan tanah. Penanaman ini dilakukan dengan kedalaman tertentu dibawah permukaan tanah. Hal ini dilakukan agar mendapatkan suatu sistem yang bisa mengamankan peralatan dan manusia yang ada disekitar peralatan yang ditanahkan. Kadang juga ditemui kesulitan dalam penanaman batang-batang dari elektroda pentanahan ini seperti pada lokasi yang berbatu, walaupun demikian sistem pentanahan ini sangat penting dan sangat diprioritaskan dalam usaha pengamanan atau perlindungan terhadap peralatan dan manusia. Oleh karena itu, perlu dilakukan suatu sistem pentanahan yang cocok dengan lokasi atau daerah dimana setiap peralatan yang ada harus dipasang pentanahan.

Agar sistem pentanahan dapat bekerja secara efektif, harus memenuhi persyaratan-persyaratan sebagai berikut :^[3]

1. Membuat jalur impedansi yang rendah ketanah untuk pengamanan personil dan peralatan, menggunakan rangkaian efektif.



-
2. Menggunakan elektroda pentanahan yang tahan korosi terhadap berbagai macam kondisi kimiawi tanah, untuk meyakinkan kontinuitas penampilannya sepanjang umur peralatan yang dilindungi.
 3. Dapat melawan dan menyebarkan gangguan berulang dan arus akibat surja hubung (surge currents).
 4. Menggunakan sistem mekanik yang kuat namun mudah dalam pelayanan.

2.2 Sistem Penumian

2.2.1 Pengertian dan Tujuan

Sistem penumian adalah sistem 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.

Adapun tujuan sistem penumian secara umum adalah:^[5]

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 ketika terjadi transient;
 6. Mengalihkan energi RF luar dari peralatan-peralatan seperti: audio, video, kontrol, dan komputer.
-



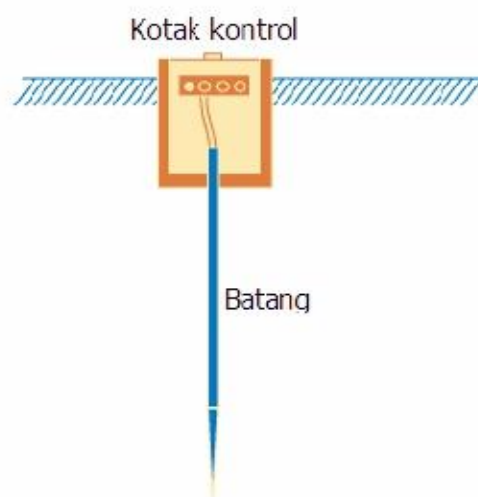
2.2.2 Komponen Sistem Penumaian

2.2.2.1 Elektroda Penumaian

Elektroda Penumaian adalah suatu komponen yang terbuat dari bahankonduktif, seperti tembaga yang berfungsi sebagai penghantar listrik yang bersentuhan dengan tanah atau ditanam di dalam tanah dengan tujuan untukmempercepat penyerapan muatan listrik akibat sambaran petir, arus bocor,hubung singkat ataupun tegangan lebih ke dalam tanah.

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

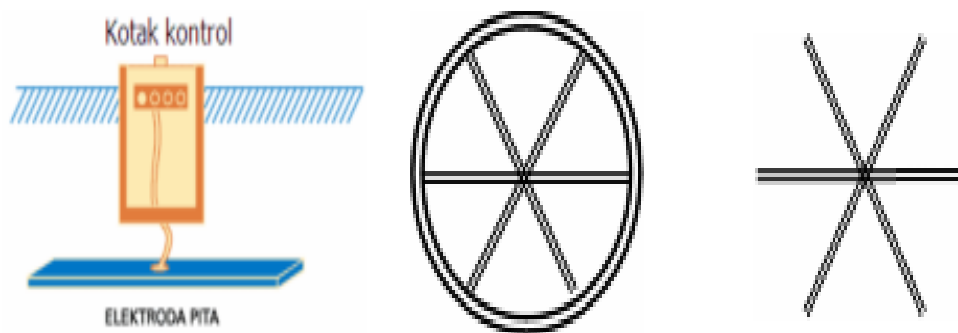
1. Elektroda Batang (Rod), yaitu elektroda dari pipa atau besi baja profil yang dipancangkan ke dalam tanah. Elektroda ini merupakan elektroda yang pertama kali digunakan dan teori-teori berawal dari elektroda jenis ini. Elektroda ini banyak digunakan di gardu induk-gardu induk. Secara teknis, elektroda batang ini mudah pemasangannya, yaitu tinggal memancangkannya ke dalam tanah. Disamping itu, elektroda ini tidak memerlukan lahan yang luas.^[5]



Gambar 2.1 Elektroda Batang (Rod)

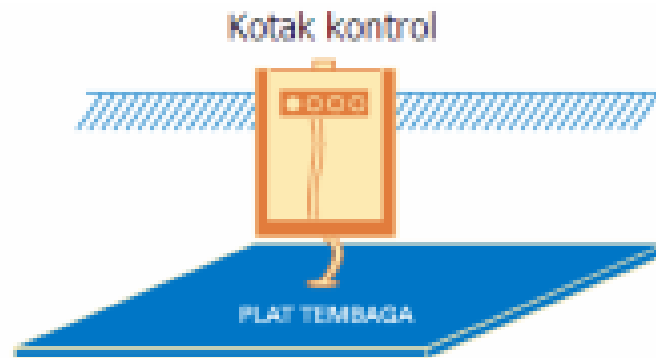


2. *Elektroda pita* adalah elektroda yang dibuat dari hantaran berbentuk pita atau berpenampang bulat atau hantaran pilin yang pada umumnya ditanam secara dalam. Pemancangan ini akan bermasalah apabila mendapapisan-lapisan tanah yang berbatu, disamping sulit pemancangannya, untuk mendapatkan nilai tahanan yang rendah juga bermasalah. 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, srperti dalam bentuk melingkar, radial atau kombinasi antara keduanya.^[5]



Gambar 2.2 Elektroda Pita

3. *Elektroda plat* adalah elektroda dari bahan plat logam (utuh atau berlubang) dari kawat kasa. Pada umumnya elektroda ini ditanam dalam tanah. elektroda ini digunakan bila diinginkan tahanan peralatan yang kecil dan sulit diperoleh dengan menggunakan jenis-jenis elektroda yanglain.^[5]



Gambar 2.3 Cara Penanaman Elektroda Plat

2.2.2.2 Elektroda Pentanahan 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.^[4]

- **Jaringan Pipa Air Minum**

Apabila jaringan pipa air minum dari logam dipakai sebagai elektroda pentanahan maka harus diperhatikan resistansi pembumiannya dapat menjadi besar akibat digunakannya pipa sambungan atau flens dari bahan isolasi. Jika pipa air minum dari logam dalam rumah atau gedung dipakai sebagai elektroda pentanahan, maka ujung pipa kedua sisi meteran air harus dihubungkan dengan pipa kedua sis meteran air harus dihubungkan dengan pipa tembaga yang berlapis timah dengan ukuran minimum 16 mm^2 atau dengan pita baja yang digalvanisasi dengan ukuran 25 mm^2 .^[4]



- **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 :

- 4 mm² tembaga untuk kabel dengan penampang inti sampai 6 mm²
- 10 mm² tembaga untuk kabel dengan penampang inti 10 mm² atau lebih.^[4]

2.3 Pemilihan Elektroda Pentanahan

Untuk mendapatkan tahanan yang serendah mungkin, suatu elektroda pentanahan harus memenuhi persyaratan sebagai berikut :^[2]

1. Tahanan pentanahan harus memenuhi syarat yang diinginkan untuk suatu keperluan pemakaian
2. Elektroda yang ditanam dalam tanah harus :
 - Bahan konduktor yang baik
 - Tahan Korosi
 - Cukup kuat
3. Jangan sebagai sumber arus galvanis
4. Elektroda harus mempunyai kontak yang baik dengan tanah sekelilingnya
5. Tahanan pentanahan harus baik untuk berbagai musim dalam setahun
6. Biaya pemasangan serendah mungkin

Tahanan pentanahan suatu elektroda tergantung pada tiga faktor :

1. Tahanan elektroda itu sendiri dan penghantar yang menghubungkan ke peralatan yang ditanahkan.
 2. Tahan kontak antara elektroda dengan tanah.
 3. Tahanan dari massa tanah sekeliling elektroda.
-



Namun demikian pada prakteknya tahanan elektroda dapat diabaikan, akan tetapi tahanan kawat penghantar yang menghubungkan keperalatan akan mempunyai impedansi yang tinggi terhadap impuls frekuensi tinggi seperti misal pada saat terjadi lightningdischarge. Untuk menghindarinya, sambungan ini di usahakan dibuat sependek mungkin.^[2]

2.4 Bahan Dan Ukuran Elektroda

Sebagai bahan elektroda digunakan tembaga, atau baja yang digalvanisasi atau dilapisi tembaga sepanjang kondisi setempat tidak mengharuskan memakai bahan lain (misalnya pada perusahaan kimia). Ukuran minimum elektrode dapat dipilihkebutuhan dengan memperhatikan pengaruh korosi dan KHA.^[5]

Tabel 2.1 Ukuran Minimum Elektroda Bumi^[5]

N o	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 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 plat	-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



2.4.1 Hantaran Penghubung

Hantaran Penghubung adalah suatu komponen yang terbuat dari bahankonduktor, seperti tembaga dan metal yang berfungsi sebagai penghubung antara kutub pbumian dengan terminal, hantaran ini biasanya berupa kawat tembaga pilin atau BC draad dengan diameter minimal 16 mm.



Gambar 2.4 Kawat BC

2.4.2 Terminal Pbumian

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

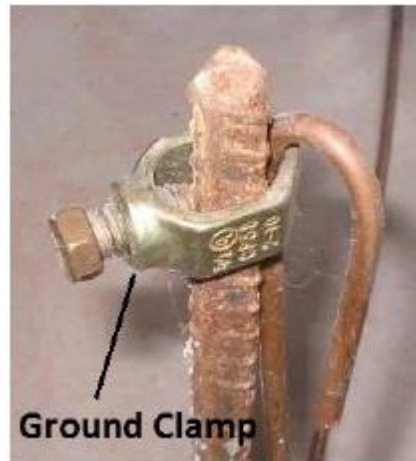


Gambar 2.5 Terminal Pbumian

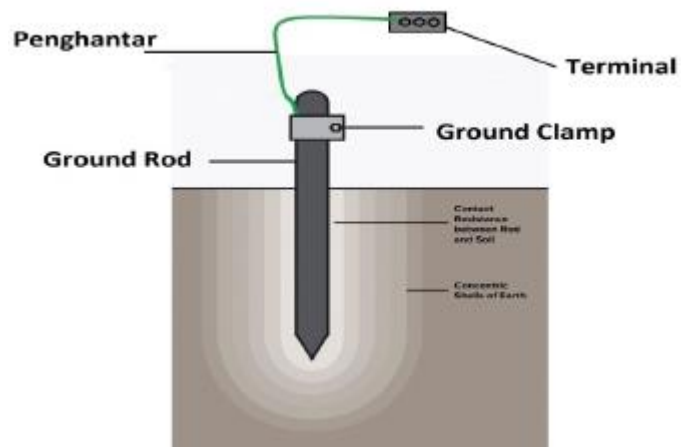


2.4.3 Ground Clamp

Ground Clamp adalah suatu komponen yang terbuat dari bahan konduktif seperti metal ataupun tembaga sebagai pengikat dan penghubung kawat penghantar ke pangkal elektroda.



Gambar 2.6 Ground Clamp



Gambar 2.7 Komponen Sistem Penumian



2.5 Tahanan Jenis Tanah

Harga tahanan jenis tanah pada daerah kedalaman yang terbatas tergantung dari beberapa faktor yaitu :^[1]

- Jenis tanah : tanah liat, berpasir, berbatu, dll
- Lapisan tanah : berlapis dengan tahanan jenis berlainan atau uniform
- Kelembaban tanah
- Temperatur

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, sehingga tahanan jenis tanah dapat dirumuskan sebagai berikut :

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

Maka,

$$\rho = \frac{R \cdot 2 \cdot \pi \cdot L}{\left[\ln \left(\frac{4L}{a} \right) - 1 \right]} \quad (2.2)$$

f Dua batang elektroda pentanahan yang dipasang parallel :

$$\frac{\text{Tahanan 2 pasak parallel}}{\text{Tahanan pasak tunggal}} = \frac{1+x}{2}$$

f

f Tiga batang elektroda pentanahan yang dipasang parallel:

$$\frac{\text{Tahanan 3 pasak parallel}}{\text{Tahanan pasak tunggal}} = \frac{1+2x}{3}$$

f Batang parallel jamak yang tersusun dalam segi empat teris, apabila jumlah pasak adalah N, maka :

$$\frac{\text{Tahanan N pasak paralel}}{\text{Tahanan pasak tunggal}} = \frac{1+Kx}{N}$$



Dimana :

R = Tahanan pasak ke tanah (ohm)

a = Jari – jari elektroda batang (m)

L = Panjang pasak tanah (m)

ρ = Resistansi jenis tanah (ohm-m)

Secara umum harga – harga tahanan jenis ini diperlihatkan pada tabel berikut ini :

Tabel 2.2 Resistansi Jenis Tanah^[5]

No	Jenis Tanah	Tahanan jenis tanah (Ohm-Meter)
1	Tanah Rawa	30
2	Tanah liat dan tanah lading	100
3	Pasir basah	200
4	Kerikil basah	500
5	Pasir dan kerikil kering	1000
6	Tanah berbatu	3000



2.6 Nilai Tahanan

Nilai standar mengacu pada Persyaratan Umum Instalasi Listrik 2000 (peraturan yang sesuai dan berlaku hingga saat ini) yaitu kurang dari atau sama dengan 5 (lima) ohm. Dijelaskan bahwa nilai sebesar 5 ohm merupakan nilai maksimal atau batas tertinggi dari hasil resistansi pembumian (grounding) yang masih bisa ditoleransi. Nilai yang berada pada range 0 ohm - 5 ohm adalah nilai aman dari suatu instalasi pembumian grounding. Nilai tersebut berlaku untuk seluruh sistem dan instalasi yang terdapat pembumian (grounding) di dalamnya. Pada PUIL 2000 point 3.13.2.10 telah dijelaskan acuan nilai resistansi pembumian sebagai berikut, “Pada jaringan udara, selain di sumber dan di konsumen, penghantar PEN nya harus dibumikan paling sedikit di setiap ujung cabang yang panjangnya lebih dari 200 m. Demikian pula untuk instalasi pasang luar, penghantar PEN nya harus dibumikan. Resistansi pembumian total seluruh sistem tidak boleh lebih dari 5 Ohm.”^[4]

2.6.1 Tahanan Pentanahan

Tahanan pentanahan harus sekecil mungkin untuk menghindari bahayabahaya 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 pembumian satu elektroda di dekat sumber listrik, transformator atau jaringan saluran udara dengan jarak 200 mm maksimum adalah 10 Ohm dan tahanan pembumian dalam suatu sistem tidak boleh lebih dari 5 Ohm (standar PUIL 2000).^[5]

Jika nilai tahanan pentanahan melebihi standar tersebut maka dapat dikatakan bahwa pembumian tersebut tidak akan bekerja mengamankan manusia dari tegangan sentuh. Hal ini dapat dibuktikan dengan persamaan rumus dibawah ini :

$$RB < \frac{50}{KI_n} (\Omega) \quad (2.3)$$



Dimana : $I_t = k \cdot I_n$

I_n = Arus pemutusan nominal pengaman (A)

k = Konstanta tergantung dari karakteristik pengaman

= 2,5 – 5 (untuk pengaman lebur atau sekering)

= 1,25 – 3,5 (untuk pengaman jenis lainnya)

International Electrotechnical Commission (IEC) mengusulkan besartegangan sentuh yang diizinkan sebagai fungsi dari lama gangguan seperti pada tabel 2.3.^[5]

Tegangan Sentuh Volt (RMS)	Waktu Pemutus Maksimum (Detik)
<50	~
50	5,0
75	1,0
90	0,5
110	0,2
150	0,1
220	0,05
280	0,03



Seperti yang telah disampaikan di awal bahwa tahanan pembumian diharapkan bisa sekecil mungkin. Namun dalam prakteknya tidaklah selalu mudah untuk mendapatkannya karena banyak faktor yang mempengaruhi tahanan pembumian.^[5]

Faktor-faktor yang mempengaruhi besar tahanan pembumian adalah:^[5]

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 pembumian 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 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.

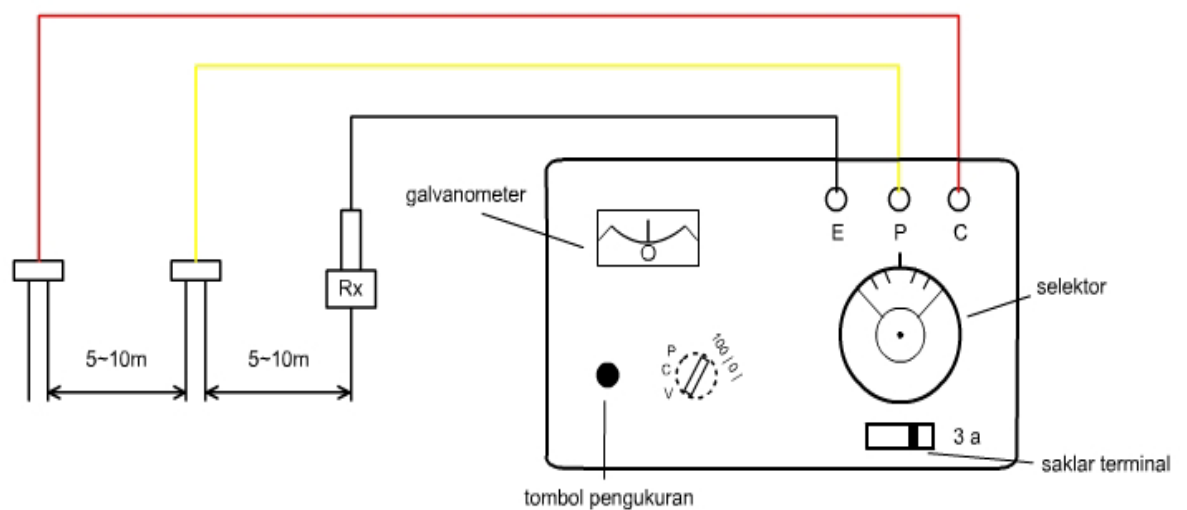


2.7 Pengukuran Tahanan Pentanahan (Earth Tester)

Ada berbagai instrument pengukur tahanan pentanahan, salah satu contohnya adalah *Earth Tester*.

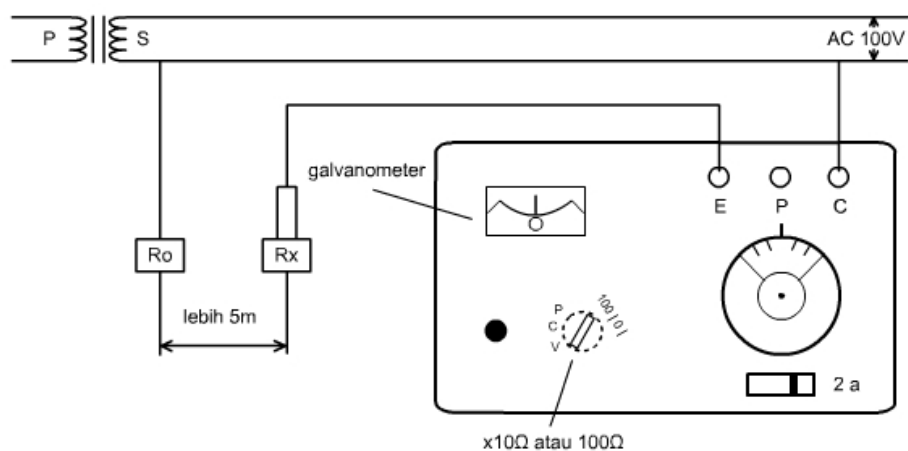
Pada instrument cara penguuran ada dua macam yaitu :^[5]

- Pengukuran normal (metode 3 kutub)^[5]



Gambar 2.8 Pengukuran Metoda 3 Kutub

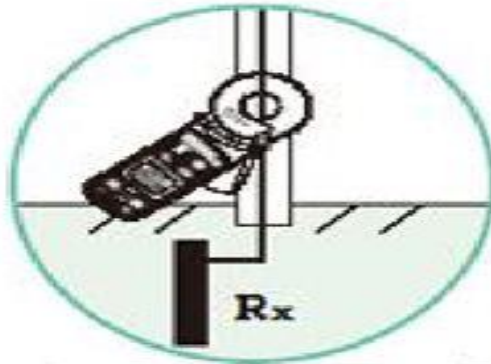
- Pengukuran praktis (metoda 2 kutub)^[5]



Gambar 2.9 Pengukuran Metoda 2 Kutub



- Pengukuran dengan digital otomatis (Model 4200)



Gambar 2.10 Rangkaian Pengukuran

2.8 Arus Melalui Tubuh Manusia

Kemampuan tubuh manusia terhadap besarnya arus yang mengalir di dalamnya. Tetapi berapa besar dan lamanya arus yang masih dapat ditahan oleh tubuh manusia sampai batas yang belum membahayakan sukar diterapkan. Dalam hal ini telah banyak diselidiki oleh para ahli dengan berbagai macam percobaan baik dengan tubuh manusia sendiri maupun menggunakan binatang tertentu. Dalam batas-batas tertentu di mana besarnya arus belum berbahaya terhadap organ tubuh manusia telah diadakan berbagai percobaan terhadap beberapa orang sukarelawan yang menghasilkan batas-batas besarnya arus dan pengaruhnya terhadap manusia yang berbadan sehat. Batas-batas arus tersebut dibagi sebagai berikut .^[1]

1. Arus mulai terasa atau persepsi
2. Arus mempengaruhi otot
3. Arus mengakibatkan pingsan atau mati atau arus fibrilasi
4. Arus reaksi



2.8.1 Arus Persepsi

Bila orang memegang penghantar yang diberi tegangan mulai dari harga nol dan dinaikkan sedikit demi sedikit, arus listrik yang melalui tubuh orang tersebut akan memberi pengaruh. Mula-mula akan merangsang syaraf sehingga akan terasa suatu getaran yang tidak berbahaya, bila dengan arus bolak-balik. Tetapi bila dengan arus searah akan terasa sedikit panas pada telapak tangan. Pada Electrical Testing Laboratory New York tahun 1993 telah dilakukan pengujian terhadap 40 orang laki-laki dan perempuan, dan didapat arus rata-rata sebagai berikut :^[1]

- Untuk laki-laki : 1,1 mA^[1]
- Untuk perempuan : 0,7 mA^[1]

2.8.2 Arus Mempengaruhi Otot

Bila tegangan yang menyebabkan terjadinya tingkat arus persepsi dinaikkan lagi maka orang akan terasa sakit dan kalau terus dinaikkan maka otot – otot terasa kaku sehingga orang tersebut tidak berdaya lagi untuk melepaskan konduktor yang dipegangnya itu. Di University of California Medical School telah dilakukan penyelidikan terhadap 134 orang laki laki dan 28 orang perempuan dan diperoleh angka rata – rata dan arus yang mempengaruhi otot adalah sebagai berikut :^[1]

- Untuk Laki – laki : 16 mA^[1]
- Untuk Perempuan : 10,5 mA^[1]

Berdasarkan atas penyelidikan ini telah ditetapkan batas maksimal dimana orang masih dapat dengan segera melepaskan konduktor bila terkena arus listrik sebagai berikut:^[1]

- Untuk Laki - laki : 9 mA^[1]
 - Untuk Perempuan : 6 mA^[1]
-



2.8.3 Arus Fibrilasi

Apabila arus yang melewati tubuh manusia lebih besar dari arus mempengaruhi otot dapat mengakibatkan orang menjadi pingsan bahkan sampai mati. Hal ini disebabkan arus listrik yang mempengaruhi jantung yang disebut *ventricular fibrillation* yang menyebabkan jantung berhenti bekerja dan Peredaran darah tidak jalan dan orang akan segera mati. Untuk menyelidiki keadaan ini tidak mungkin dapat dilakukan terhadap manusia. Untuk mendapatkan nilai pendekatan suatu percobaan telah dilakukan pada *University of California* oleh Daiziel pada tahun 1968, dengan menggunakan binatang yang mempunyai badan dan jantung kira – kira sama dengan manusia. Dari percobaan tersebut Dalziel menarik kesimpulan bahwa 99,5 % dari semua orang bertanya kurang 50 kg masih dapat bertahan besar arus dan waktu yang ditentukan.^[1]

$$I_k^2 t = K \text{ atau } I_k = k / \sqrt{t}^{[3]}$$

Di mana :

$$k = \sqrt{K}$$

$$K = 0,0135 \text{ untuk manusia dengan berat 50 kg}$$

$$= 0,0246 \text{ untuk manusia dengan berat 70 kg}$$

maka :

$$K_{50} = 0,116 \text{ Amper}^{[1]}$$

$$k_{70} = 0,157 \text{ Amper}^{[1]}$$

jadi :

$$I_k^2 \cdot t = 0,0135 \text{ untuk manusia dengan berat 50 kg}$$

$$I_k = \frac{0,116}{\sqrt{t}} \quad (2.4)$$

Di mana :

I_k = Besarnya arus yang lewat pada tubuh manusia (A)

t = Waktu arus lewat tubuh manusia ataulama gangguan tanah (detik)



2.8.4 Arus Reaksi

Arus reaksi adalah arus yang terkecil yang dapat mengakibatkan orang menjadi terkejut, hal ini cukup berbahaya karena dapat mengakibatkan kecelakaan sampingan. Karena terkejut orang dapat jatuh dari tangga, melemparkan peralatan yang sedang dipegang yang dapat mengenai bagian-bagian instalasi bertegangan tinggi sehingga terjadi kecelakaan yang lebih fatal. Penyelidikan yang terperinci telah dikemukakan oleh DR. Hans Prinz di mana batasan-batasan arus tersebut disusun menurut tabel 2.4.^[1]

Tabel 2.4 Batasan – Batasan Arus dan Pengaruhnya Pada Manusia^[1]

Besar Arus	Pengaruh Pada Tubuh Manusia
0 – 0,9 mA	Belum dirasakan pengaruhnya, tidak menimbulkan reaksi apa – apa.
0,9 – 1,2 mA	Baru terasa adanya arus listrik, tetapi tidak menimbulkan akibat kejang, kontraksi atau kehilangan kontrol.
1,2 – 1,6 mA	Mulai terasa seakan – akan ada yang merayap didalam tangan.
1,6 – 6,0 mA	Tangan sampai ke siku merasa kesemutan.
6,0 – 8,0 mA	Tangan mulai kaku, rasa kesemutan makin bertambah.
13 – 15,0 mA	Rasa sakit tidak tertahankan, penghantar masih dapat melepaskan dengan daya besar sekali.
15 – 20,0 mA	Otot tidak sanggup lagi melepaskan penghantar.
20 – 50,0 mA	

2.8.5 Tahanan Tubuh Manusia

Tahanan tubuh manusia berkisar di antara 500 Ohm sampai 100.000 Ohm tergantung dari tegangan, keadaan kulit pada tempat yang mengadakan hubungan (Kontak) dan jalannya arus dalam tubuh. Kulit yang terdiri dari lapisan tanduk mempunyai tahanan yang tinggi, tetapi terhadap tegangan yang tinggi kulit yang



menyentuh konduktor langsung terbakar, sehingga tahanan dari kulit ini tidak berarti apa-apa. Tahanan tubuh manusia ini yang dapat membatasi arus.^[1]

Berdasarkan hasil penyelidikan oleh para ahli maka sebagai pendekatan diambil harga tahanan tubuh manusia sebesar 1000 Ohm.^[1]

Tabel 2.5 Berbagai Harga Tahanan Tubuh Manusia^[1]

Peneliti	Tahanan (Ohm)	Keterangan
Dalziel	500	dengan tegangan 60 cps.
AIEE Committee	2.330	dengan tegangan 21 Volt.
Report 1958		tangan ke tangan $I_k = 9 \text{ mA}$.
	1.130	tangan ke kaki
	1.680	tangan ke tangan dengan arus searah
	800	tangan ke kaki dengan 50 cps.
Laurent	3.000	

2.9 Sistem Pentanahan Pada Gardu Portal

Bagian-bagian yang dibumikan pada gardu portal adalah

1. Terminal netral sekunder transformator
2. Lightning Arrester (LA)
3. Bagian konduktor terbuka seperti PHB-TR dan body transformator

Elektroda pbumian LA terpisah dengan elektroda pbumian titik netral transformator.

Untuk menghindari kerusakan maupun pencurian, penghantar pbumian harus di lindungi dengan pipa galvanis setinggi 3 meter dari permukaan tanah.

Penghantar pbumian menggunakan kawat tembaga (BC) berukuran 50 mm^2 dan elektroda pbumian memakai elektroda batang sepanjang 3 meter dengan minimal 20 cm ditanam ke dalam tanah.



2.10 Menghitung Tahanan Pentanahan

Berikut rumus pendekatan yang biasa digunakan untuk elektroda batang dikembangkan oleh *Proff. H.B Dwight* dari *Institut Teknologi Massachusetts* yaitu:

1. **O** Satu batang elektroda^[1]

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

2. **OO** Dua batang elektroda^[1]

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