

**PEMODELAN *GROUNDING* UNTUK MENDAPATKAN NILAI
TAHANAN PEMBUMIHAN PADA PERALATAN TENAGA LISTRIK**

SKRIPSI

*Disusun dalam rangka memenuhi salah satu persyaratan untuk menyelesaikan
Program Strata Satu Departemen Teknik Elektro Fakultas Teknik*

Universitas Hasanuddin

Makassar

Oleh:

**HARDIANSYAH
D041 17 1315**



DEPARTEMEN TEKNIK ELEKTRO FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS HASANUDDIN

MAKASSAR

2021

LEMBAR PENGESAHAN TUGAS AKHIR

**PEMODELAN GROUNDING UNTUK MENDAPATKAN NILAI TAHANAN
PEMBUMIHAN PADA PERALATAN TENAGA LISTRIK**

Disusun dan diajukan oleh :

HARDIANSYAH

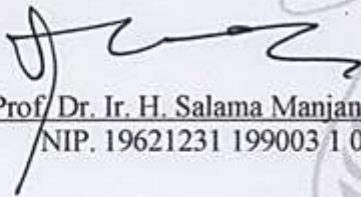
D041 17 1315

Telah dipertahankan di hadapan Panitia Ujian yang dibentuk dalam rangka penyelesaian studi Program Sarjana Program Studi Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin Pada Tanggal 24 November 2021 dan dinyatakan telah memenuhi syarat kelulusan

Menyetujui

Pembimbing Utama

Pembimbing Pendamping


Prof. Dr. Ir. H. Salama Manjang M.T.
NIP. 19621231 199003 1 024


Dr. Ir. Ikhlas Kitta, S.T., M.T.
NIP. 19760914 2008 1 006

Ketua Program Studi



Dr. Eng. Ir. Dewiani, MT.
NIP. 19691026 199412 2 001

PERNYATAAN KEASLIAN

Yang bertanda tangan dibawah ini :

Nama : Hardiansyah
Nim : D041171315
Program Studi : Teknik Elektro

Menyatakan dengan ini bahwa karya tulisan saya berjudul

PEMODELAN *GROUNDING* UNTUK MENDAPATKAN NILAI TAHANAN PEMBUMIHAN PADA PERALATAN TENAGA LISTRIK

Adalah karya tulisan saya sendiri dan bukan merupakan pengambilan alihan tulisan orang lain bahwa skripsi yang saya tulis ini benar-benar merupakan hasil karya saya sendiri.

Apabila dikemudian hari terbukti atau dapat dibuktikan bahwa sebagian atau keseluruhan skripsi ini hasil karya orang lain, maka saya bersedia menerima sanksi atas perbuatan tersebut.

Makassar, 25 November 2021

Yang membuat pernyataan,



Hardiansyah

ABSTRAK

Pembumian sebenarnya merupakan penciptaan jalur yang low-impedansi (tahanan rendah) terhadap permukaan bumi untuk gelombang listrik dan transien voltage. Sistem pembumian digunakan sebagai sirkuit pelepasan arus gangguan yang terjadi lalu ke tanah. Pada sistem pembumian ini banyak digunakan pada peralatan untuk mencegah terjadinya tegangan kejut listrik yang berbahaya bagi manusia dan untuk menjaga keandalan sistem tenaga listrik. Elektroda yang digunakan biasanya menggunakan elektroda batang, pelat dan pita. Pada penelitian ini dengan mengkombinasikan batang-pelat dan batang-pita. Dengan melakukan pengujian ini maka akan didapatkan nilai tahanan pembumian yang mana harus sesuai dengan PUIL 2000. Nilai standar mengacu pada Persyaratan Umum Instansi Listrik atau PUIL 2000 (peraturan yang sesuai dan berlaku hingga sesuai dan berlaku hingga saat ini) yaitu kurang dari atau sama dengan 5 ohm. Dijelaskan bahwa nilai sebesar 5 ohm merupakan nilai maksimal atau batas tertinggi dari hasil resistansi pembumian (grounding) yang masih bisa di toleransi. Pada hasil pengukuran didapatkan elektroda nilainya sudah sesuai standar PUIL yaitu batang-pita pada area F 4.17 Ω , area G 2.78 Ω dan area H 2.08 Ω serta elektroda batang-pelat pada area K 4.53 Ω dan area L 3.39 Ω . 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 didalamnya.

Kata kunci: Tahanan Pembumian, Elektroda Batang-Pita, Elektroda Batang-Pelat

ABSTRACT

Earthing is actually the creation of a low-impedance, low-resistance path to the earth's surface for electric waves and transient voltages. An effective grounding system will have this effect. The earthing system is used as a circuit for the discharge of the fault current that occurs then to the ground. In this earthing system, it is widely used in equipment to prevent electric shock voltages that are harmful to humans and to maintain the reliability of the electric power system. The electrodes used are usually rod, plate and tape electrodes. In this research by combining rod-plate and rod-ribbon. By carrying out this test, the value of the earth resistance will be obtained which must be in accordance with PUIL 2000. The standard value refers to the General Requirements for Electrical Installation or PUIL 2000 (appropriate and valid regulations until they are appropriate and valid to date) which is less than or equal to 5 ohm. It is explained that the value of 5 ohms is the maximum value or the highest limit of the results of the grounding resistance that can still be tolerated. The measurement results show that the electrode values are in accordance with the PUIL standard, namely the band-rod in the F area of 4.17 , the G area of 2.78 and the H area of 2.08 and the rod-plate electrode in the K area of 4.53 and the L area of 3.39 . Values that are in the range of 0 ohms - 5 ohms are safe values for a grounding installation. This value applies to all systems and installations that have earth in them.

***Keywords:* Earth Resistance, Band-Rod Electrode, Rod-Plate Electrode**

KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadiran Allah SWT yang telah memberikan rahmat dan hidayah-Nya sehingga penulisan tugas akhir yang berjudul “Pemodelan Grounding Untuk Mendapatkan Nilai Tahanan Pembumian Pada Peralatan Tenaga Listrik” dapat terselesaikan dengan baik. Shalawat dan salam senantiasa penulis kirimkan kepada Rasulullah Muhammad SAW, suri tauladan bagi semua umat manusia.

Tugas akhir ini dibuat sebagai salah satu syarat yang harus dipenuhi dalam penyelesaian studi program sarjana di Departemen Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin. Banyak rintangan yang dihadapi penulis dalam penyusunan tugas akhir ini, namun berkat bantuan dan dukungan dari berbagai pihak, akhirnya tugas akhir ini dapat diselesaikan dengan baik. Oleh karena itu penulis ingin menyampaikan rasa terima kasih sebesar-besarnya kepada kedua orang tua penulis yang tak henti-hentinya memberikan dukungan moral maupun materil kepada penulis.

Selama penyusunan tugas akhir ini, penulis memperoleh banyak bimbingan, bantuan, masukan dan saran-saran dari berbagai pihak. Oleh karena itu, dengan segala kerendahan hati penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Orang tua penulis yang tidak henti-hentinya memberikan doa dan dukungan dalam bentuk apapun kepada penulis sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini.

2. Ibu Dr.Eng.Ir. Dewiani, M.T. Selaku Ketua Departemen Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.
3. Bapak Prof. Dr. Ir. H. Salama Manjang, M.T. Selaku pembimbing I dan Bapak Dr. Ir. Ikhlas Kitta, S.T., M.T. selaku pembimbing II yang telah meluangkan waktu dan memberikan bimbingan, gagasan, serta ide-ide dalam penyelesaian skripsi ini.
4. Bapak Dr. Indar Chaerah Gunadin, S.T., M.T.dan Ibu Dr.Ir.Hj. Sri Mawar Said, M.T. selaku dosen penguji skripsi penulis yang telah memberikan kritik dan saran dalam penyelesaian skripsi ini.
5. Seluruh dosen pengajar serta pegawai Departemen Teknik Elektro Universitas Hasanuddin atas bimbingan, didikan, kemudahan dan bantuan yang telah diberikan kepada penulis selama menempuh perkuliahan.
6. Semua pihak yang telah membantu dalam penyelesaian tugas akhir ini namun tidak bisa disebutkan satu persatu pada kesempatan ini.

Akhir kata, penulis menyadari masih terdapat banyak kekurangan dalam penyusunan tugas akhir ini. Untuk itu, kritik dan saran yang membangun sangat penulis harapkan dalam penyempurnaan tugas akhir ini. Terakhir, penulis berharap semoga tugas akhir ini dapat memberikan hal yang bermanfaat dan menambah wawasan bagi pembaca sekalian. Aamiin.

Makassar, 25 November 2021

Penulis

DAFTAR ISI

| | |
|---|------|
| LEMBAR PENGESAHAN TUGAS AKHIR | ii |
| PERNYATAAN KEASLIAN | iii |
| ABSTRAK | iv |
| ABSTRACK | v |
| KATA PENGANTAR | vi |
| DAFTAR ISI | viii |
| DAFTAR GAMBAR | xi |
| DAFTAR TABEL | xii |
| BAB I PENDAHULUAN | 1 |
| 1.1 Latar Belakang | 1 |
| 1.2 Rumusan Masalah | 3 |
| 1.3 Tujuan Penelitian | 3 |
| 1.4 Batasan Masalah | 3 |
| 1.5 Manfaat Penelitian | 4 |
| 1.6 Sistematika Penulisan | 4 |
| BAB II TINJAUAN PUSTAKA | 6 |
| 2.1 Sistem Pentanahan | 6 |
| 2.2 Pembumian | 8 |
| 2.3 Bahaya-Bahaya yang Biasa Terjadi..... | 12 |

| | |
|--|-----------|
| 2.4 Resistansi Pembumian | 15 |
| 2.5 Resistansi Jenis Tanah | 18 |
| 2.6 Elektroda Pentanahan | 23 |
| 2.7 Pengukuran Resistansi Pembumian | 31 |
| 2.8 Jarak Peletakan Elektroda Bantu | 36 |
| 2.9 Penghantar Pembumian | 37 |
| 2.10 Penghantar Pembumian | 39 |
| BAB III METODOLOGI PENELITIAN | 41 |
| 3.1 Waktu dan Lokasi Penelitian | 41 |
| 3.2 Data | 41 |
| 3.3 Rancangan Penelitian | 42 |
| 3.4 Alat dan Bahan Penelitian | 42 |
| 3.5 Metode Pengukuran | 43 |
| 3.6 Diagram Alir Penelitian | 44 |
| BAB IV HASIL DAN PEMBAHASANN | 45 |
| 4.1 Penentuan Jenis Tanah | 45 |
| 4.2 Pengukuran Nilai Tahanan Pembumian | 46 |
| 4.3 Perhitungan Nilai Tahanan Pembumian | 57 |
| 4.4 Perbandingan Nilai Tahanan Pembumian | 61 |
| BAB 5 PENUTUP | 64 |

| | |
|----------------------|----|
| 5.1 Kesimpulan | 64 |
| 5.2 Saran | 65 |
| DAFTAR PUSTAKA | 66 |
| LAMPIRAN | 67 |

DAFTAR GAMBAR

| | |
|--|----|
| Gambar 2.1 Pengaruh aliran arus melalui tubuh | 14 |
| Gambar 2.2 Elektroda Pita | 26 |
| Gambar 2.3 Elektroda Batang | 28 |
| Gambar 2.4 Elektroda Pelat | 29 |
| Gambar 2.5 Pengukuran resistansi elektroda pentanahan menggunakan metode 62% | 34 |
| Gambar 2.6 Pengukuran metoda normal (metoda 3 kutub) | 35 |
| Gambar 2.7 Pengukuran metoda praktis (metoda 2 kutub) | 36 |
| Gambar 3.1 Model elektroda | 42 |
| Gambar 3.2 Rangkaian pengukuran pbumian | 44 |
| Gambar 3.3 Diagram alir penelitian | 44 |
| Gambar 4.1 Titik pbumian | 47 |
| Gambar 4.2 Pengukuran Elektroda Batang | 48 |
| Gambar 4.3 Pengukuran Elektroda Batang-Pita | 50 |
| Gambar 4.4 Pengukuran Elektroda Batang-Pelat | 52 |
| Gambar 4.5 Grafik Nilai Tahanan Pbumian Elektroda Batang | 55 |
| Gambar 4.6 Grafik Nilai Tahanan Pbumian Elektroda Batang-Pita | 56 |
| Gambar 4.7 Grafik Nilai Tahanan Pbumian Elektroda Batang-Pelat | 56 |

DAFTAR TABEL

| | |
|--|----|
| Tabel 2.1 Besar dan Lama Tegangan Sentuh | 10 |
| Tabel 2.2 Tegangan langkah dan waktu pemutusan gangguan maksimum .. | 12 |
| Tabel 2.3 Pengaruh arus listrik pada tubuh manusia | 14 |
| Tabel 2.4 Resistansi jenis tanah | 22 |
| Tabel 2.5 Luas penampang minimum elektroda bumi | 23 |
| Tabel 2.6 Jarak elektroda-elektroda bantu menggunakan metoda 62% | 37 |
| Tabel 4.1 Hasil Uji Tanah | 45 |
| Tabel 4.2 Data hasil pengukuran pada elektroda batang | 49 |
| Tabel 4.3 Data hasil pengukuran pada elektroda batang-pita | 51 |
| Tabel 4.4 Data hasil pengukuran pada elektroda batang-pelat | 53 |

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Di era modern ini, kebutuhan terhadap listrik merupakan kebutuhan yang harus terpenuhi. Peralatan-peralatan yang kita gunakan dalam kehidupan sehari-hari merupakan banyak menggunakan energi listrik. Selain memiliki manfaat yang besar bagi kehidupan manusia listrik juga dapat mendatangkan bahaya jika tidak diperhatikan dengan baik dan pemasangannya tidak sesuai aturan [1]. Pemasangan peralatan yang sudah dialiri arus listrik harus sesuai dengan standar PUIL (Persyaratan Umum Instalasi Listrik).

Pembumian adalah penghubungan suatu titik sirkit listrik atau suatu penghantar yang bukan bagian dari sirkit listrik, dengan bumi menurut cara tertentu [2]. Sedangkan sistem pentanahan atau biasa disebut grounding adalah sistem pengamanan terhadap perangkat-perangkat yang mempergunakan listrik sebagai sumber tenaga. Sistem pentanahan sangat mempunyai peranan yang sangat penting dalam sistem proteksi.

Sistem pentanahan dilakukan dengan cara menanamkan batang elektroda pentanahan tegak lurus, kemudian batang elektroda pentanahan itu di tanam kedalam tanah. Resistansi pentanahan yang terpasang dalam tanah semakin lama akan semakin mengalami penurunan kadar pada batang elektroda, sehingga aliran

arus yang melalui elektroda yang seharusnya disalurkan ke tanah menjadi kurang sempurna.

Berdasarkan PUIL (Persyaratan Umum Instalasi Listrik) 2000 nilai resistansi pentanahan total sistem yang berlaku adalah tidak boleh lebih dari 5 Ω . Selain itu, nilai standarisasi tahanan pentanahan diatur dalam Peraturan Menteri Tenaga Kerja Republik Indonesia Nomor Per.02/Men/1989 tentang Pengawasan Instalasi Penyalur Petir yang termuat dalam pasal 54 ayat 1 yang antara lain “Tahanan pembumian dan seluruh sistem pembumian tidak boleh lebih dari 5 ohm”. Semakin rendah nilai tahanan pentanahan maka kemampuan mengalirkan arus gangguan semakin baik. Besarnya nilai tahanan pentanahan dipengaruhi oleh lima faktor, yaitu tahanan jenis tanah, ukuran elektroda, jenis elektroda yang digunakan, jumlah elektroda yang digunakan dan kedalaman penanaman elektroda. Untuk tahanan jenis tanah dipengaruhi oleh komposisi tanah, temperatur, kelembaban dan kandungan kimia dalam tanah.

Salah satu cara untuk mendapatkan nilai tahanan pembumian adalah dengan menggabungkan elektroda seperti elektroda batang dengan elektroda pelat dan elektroda batang dengan elektroda pita serta menghubungkan paralelkan elektroda. Dalam penelitian ini digunakanlah elektroda batang, elektroda pita dan elektroda pelat yang mana elektroda tersebut kombinasikan lalu dihubung parallel dengan kedalaman tertentu dengan tujuan untuk mereduksi nilai tahanan pembumian. Oleh karena itu judul penelitian ini adalah “PEMODELAN *GROUNDING* UNTUK MENDAPATKAN NILAI TAHANAN PEMBUMIAN PADA SISTEM TENAGA LISTRIK”

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang diatas dapat dirumuskan masalahnya sebagai berikut.

1. Apakah dengan mengkombinasikan elektroda batang dengan elektroda pita dan elektroda batang dengan pelat mampu mendapatkan nilai tahanan pembumian yang sesuai dengan standar PUIL?
2. Bagaimana pengaruh nilai tahanan pembumian terhadap kombinasi elektroda batang dengan pita dan elektroda batang dengan pelat?

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah.

1. Mengetahui apakah dengan mengkombinasikan elektroda batang dengan elektroda pita dan elektroda batang dengan pelat mampu mendapatkan nilai tahanan pembumian yang sesuai dengan standar PUIL.
2. Mengetahui pengaruh nilai tahanan pembumian terhadap kombinasi elektroda batang dengan pita dan elektroda batang dengan pelat

1.4 Batasan Masalah

Adapun batasan masalah pada penelitian ini adalah.

1. Jenis tanah yang digunakan pada penelitian ini adalah tanah liat
2. Sistem pembumian yang digunakan yaitu menggunakan elektroda batang, elektroda pelat dan elektroda pita.
3. Elektroda yang digunakan pada penelitian ini ialah dari besi

4. Dalam penelitian ini standar yang digunakan adalah Peraturan Umum Instalasi Listrik 2000 dan standar IEEE Std 80-2013 : IEEE Guide for Safety in AC Substation

1.5 Manfaat Penelitian

1. Dapat mengetahui kelayakan sistem pembumian pada elektroda yang digunakan
2. Meminimalisir terjadinya tegangan kejut listrik yang berbahaya bagi makhluk hidup yang berada disekitar peralatan listrik
3. Dapat dijadikan sebagai bahan evaluasi keamanan sistem pembumian
4. Dapat dijadikan sebagai referensi untuk penelitian selanjutnya

1.6 Sistematika Penulisan

Adapun Sistematika penulisan dalam penyusunan seminar usulan proposal penelitian ini adalah sebagai berikut:

BAB I PENDAHULUAN

Bab ini berisi tentang penguraian secara singkat latar belakang, rumusan masalah, tujuan, dan batasan masalah, serta sistematika penulisan.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Pada bab ini akan dijelaskan tentang teori penunjang yang relevan untuk bahan penelitian yang diperoleh dari sumber referensi untuk menyusun kerangka teori dan konseptual.

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

Dalam bab ini berisi tentang waktu dan tempat penelitian, metode pengambilan data, analisa data, dan langkah-langkah penelitian.

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada bab ini akan berisi tentang hasil dan pembahasan yang telah didapatkan dari hasil penelitian.

BAB V PENUTUP

Pada bab ini akan berisi tentang kesimpulan dan saran dari keseluruhan proses penelitian yang telah dilakukan.

DAFTAR PUSTAKA

Berisi tentang referensi-referensi yang digunakan dalam penelitian tugas akhir.

LAMPIRAN

Berisi tentang lampiran-lampiran yang berhubungan dengan penelitian.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

Pada bab ini membahas mengenai teori-teori dasar yang berkaitan dengan penelitian yang dilakukan, sebagai penunjang dalam melakukan penelitian. Teori dasar yang digunakan merupakan teori yang relevan untuk bahan penelitian yang diperoleh dari sumber referensi yang digunakan untuk menunjang konseptual penelitian.

2.1 Sistem Pentanahan

Sistem pentanahan merupakan salah satu faktor yang sangat penting dalam pengamanan pada suatu system tenaga listrik. Sistem Pentanahan sudah mulai dikenal sejak tahun 1900. Sebelumnya sistem-sistem tenaga listrik tidak diketanahkan karena ukurannya masih kecil dan tidak terlalu membahayakan. 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 [3].

Secara umum tujuan pentanahan adalah :

1. Membawa arus listrik ke bumi dalam keadaan normal dan terjadi gangguan tanpa melewati batas pengoperasian dan peralatan atau menimbulkan dampak yang terus menerus pada peralatan.

2. Untuk menjamin bahwa manusia dan hewan disekitar peralatan yang dibumikan terlindung dari bahaya kejutan listrik [4][5].

Agar sistem pentanahan dapat bekerja efektif, maka harus memenuhi persyaratan – persyaratan sebagai berikut [4] :

- a. Membuat jalur impedansi rendah ke tanah untuk pengamanan personil dan peralatan, menggunakan rangkain yang efektif.
- b. Dapat melawan dan menyebarkan gangguan berulang dan arus akibat surja hubungan (surge currents)
- 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. Dalam sebuah instalasi listrik, ada empat bagian yang harus ditanahkan yaitu [11] :
- e. 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 sehingga tidak berbahaya bagi manusia yang menyentuhnya.
- f. 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 dengan lancar.
- g. 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.

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

2.2 Penumian

Penumian adalah penghubungan suatu titik sirkit listrik atau suatu penghantar yang bukan bagian dari sirkit listrik, dengan bumi menurut cara tertentu [2]. Penumian mempunyai hubungan erat dengan perlindungan suatu sistem beserta dengan perlengkapannya.

Terdapat dua jenis penumian pada sistem tenaga listrik [1], yaitu:

1. Penumian Sistem

Penumian sistem adalah penumian pada sistem tenaga listrik ke bumi dengan cara tertentu. Penumian sistem ini dilakukan pada transformator pada Gardu Induk (GI) dan transformator pada Gardu Distribusi (GD) di saluran distribusi. Umumnya penumian sistem dilakukan pada titik netral sistem tenaga. Tujuan dari penumian sistem adalah:

- a. Mengurangi tegangan lebih *transient* yang tinggi yang disebabkan oleh arus gangguan relatif besar ($<5A$).

- b. Membatasi tegangan-tegangan pada fase-fase yang tidak terganggu.

2. Penumbumian Peralatan

Penumbumian peralatan adalah penumbumian bagian konduktif terbuka (BKT) peralatan yang pada waktu normal tidak bertegangan. Secara umum tujuan penumbumian peralatan adalah:

- a. Membatasi tegangan antara bagian-bagian yang tidak dilalui arus dengan tanah sampai pada suatu harga yang aman.
- b. Memperoleh impedansi yang rendah atau kecil dari jalan balik arus hubung singkat ke tanah.

Sedangkan secara khusus penumbumian sistem bertujuan untuk:

- a. Mencegah terjadinya kejutan listrik pada sentuhan tak langsung BKT peralatan akibat bekerjanya gawai arus lebih instalasi listrik.
- b. Memungkinkan timbulnya arus tertentu baik besarnya maupun lamanya, dalam keadaan gangguan tanah tanpa menimbulkan kebakaran atau ledakan pada bangunan beserta isinya.
- c. Memperbaiki penampilan (*performance*) dari sistem.

Penumbumian merupakan salah satu cara konvensional untuk mengatasi bahaya tegangan sentuh tidak langsung yang dimungkinkan terjadi pada bagian peralatan yang terbuat dari logam. Untuk peralatan yang mempunyai selungkup/rumah yang terbuat dari non logam tidak memerlukan sistem ini.

Pembumian dapat bekerja secara efektif apabila dalam pembuatannya sesuai dengan standar. Ada dua hal yang dilakukan oleh sistem pembumian, yaitu:

1. Menyalurkan arus dari bagian-bagian logam peralatan yang teraliri arus listrik ke tanah melalui saluran pembumian.
2. Menghilangkan beda potensial antara bagian logam peralatan dan tanah sehingga tidak membahayakan bagi yang menyentuhnya.

Untuk mencegah terjadinya tegangan kejut yang berbahaya (diatas 50V), kerangka logam dari peralatan harus dihubungkan ke tanah melalui impedansi rendah. Impedansi pembumian ini harus sangat kecil sehingga tegangan sentuh yang timbul pada kerangka peralatan harus cukup kecil dan tidak berbahaya.

Tabel 2.1 Besar dan Lama Tegangan Sentuh

| Tegangan Sentuh (Volt) | Waktu Pemutusan Maksimum (detik) |
|------------------------|----------------------------------|
| <50 | - |
| 50 | 5,0 |
| 75 | 1,0 |
| 90 | 0,5 |
| 110 | 0,2 |
| 150 | 0,1 |
| 220 | 0,05 |
| 280 | 0,03 |

International Electrotechnical Commission (IEC) merekomendasikan tegangan sentuh yang diizinkan sebagai fungsi dari lama gangguan seperti ditunjukkan pada Tabel 2.1 umumnya digunakan untuk sistem tegangan pentanahan. Untuk dapat memenuhi syarat tersebut maka tahanan pentanahan sebesar:

$$R_B < \frac{50}{kI_n} \Omega \quad (2.1)$$

Keterangan :

R_B = Resistansi grounding (Ω)

I_n = Arus nominal alat pengaman arus lebih (A)

k = Bilangan bergantung pada karakteristik alat pengaman

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

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

Terdapat juga adanya tegangan langkah. Tegangan langkah adalah tegangan yang terjadi akibat arus gangguan yang melewati tanah. Arus gangguan ini relatif besar dan apabila mengalir dari tempat terjadinya gangguan kembali ke sumber (titik netral) melalui tanah yang mempunyai resistansi besar maka tegangan di permukaan tanah menjadi tinggi. *Rural Electrification Administration (REA)*, AS.[3], merekomendasikan tegangan langkah dan waktu pemutusan maksimum yang diperbolehkan adalah:

Tabel 2.2 Tegangan langkah dan waktu pemutusan gangguan maksimum

| Tegangan Langkah yang Diizinkan (Volt) | Lama Gangguan (Detik) |
|--|-----------------------|
| 7.000 | 0,1 |
| 4.950 | 0,2 |
| 4.040 | 0,3 |
| 3.500 | 0,4 |
| 3.140 | 0,5 |
| 2.216 | 1,0 |
| 1.560 | 2,0 |
| 1.280 | 3,0 |

Secara singkat, pentanahan peralatan ini dimaksudkan untuk:

1. Mengamankan manusia dari sengatan listrik baik tegangan sentuh maupun tegangan langkah.
2. Mencegah timbulnya kebakaran atau ledakan pada bangunan akibat busur api ketika terjadi gangguan tanah.
3. Memperbaiki kinerja sistem

2.3 Bahaya-Bahaya yang Biasa Terjadi

Bahaya yang diakibatkan karena terkena tegangan listrik dipengaruhi oleh beberapa hal, diantaranya [7]:

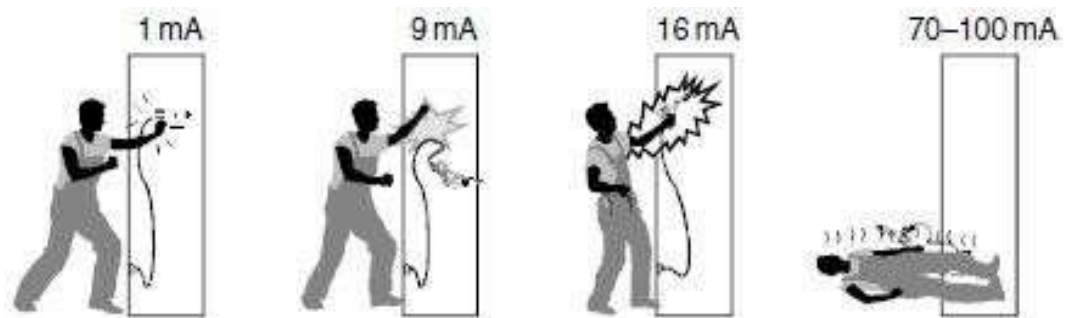
- Besar tegangan atau arus yang melalui tubuh.
- Lamanya arus yang mengalir dalam tubuh.

- Kondisi keadaan tubuh, seperti: berat badan, resistans tubuh, permukaan kulit dan posisi badan ketika diairi arus listrik.

Pada sistem tegangan tinggi sering terjadi kecelakaan terhadap manusia, dalam hal terjadi tegangan kontak langsung atau dalam hal manusia berada didalam suatu daerah yang mempunyai gradien tegangan yang tinggi. Sebenarnya yang menyebabkan bahaya tersebut adalah besarnya arus yang mengalir dalam tubuh manusia. Arus gangguan ini akan mengalir melalui bagian – bagian peralatan yang terbuat dari logam dan juga mengalir dalam tanah disekitar gardu induk. Arus gangguan tersebut dapat menimbulkan gradien tegangan diantara peralatan, peralatan dengan tanah dan juga gradien tegangan pada permukaan tanah itu sendiri [7].

Empat tahap efek dari aliran arus melalui tubuh seperti pada Gambar 2.1 yaitu [7] :

1. Keadaan awal yang hanya menyebabkan kesemutan
2. Keadaan dimana dalam ambang batas masih dapat melepaskan diri.
3. Keadaan dimana dalam ambang batas tidak mampu lagi melepaskan diri.
4. Mati akibat penyempitan otot dada dan sesak nafas.



Gambar 2.1 Pengaruh aliran arus melalui tubuh

Dampak dari aliran arus terhadap tubuh manusia secara lebih rinci terdapat pada Tabel 2.3.

Tabel 2.3 Pengaruh arus listrik pada tubuh manusia.

| Arus (mA) | Pengaruhnya Pada Tubuh Manusia |
|-----------|--|
| 0,0-0,9 | Belum Dirasakan Pengaruhnya, Tidak Menimbulkan Reaksi Apapun. |
| 0,9-1,2 | Tubuh Mulai Merasakan Adanya Arus Listrik, Tetapi Tidak Menimbulkan Kejang-Kejang, Kontraksi, Atau Kehilangan Kontrol. |
| 1,2-1,6 | Mulai Seperti Ada Yang Merayap Di Tangan. |
| 1,6-6,0 | Tangan Sampai Kesiku Terasa Kesemutan. |
| 6,0-8,0 | Tangan Mulai Kaku, Rasa Kesemutan Mulai Bertambah. |
| 13-14 | Rasa Sakit Tidak Tertahan Penghantar Masih Dapat Dilepaskan Denga Gaya Yang Besar Sekali. |
| 15-20 | Otot Tidak Sanggup Lagi Melepaskan Penghantar, |
| 20-50 | Dapat Mengakibatkan Kerusakan Pada Tubuh Manusia. |

| | |
|--------|---|
| 60-100 | Besar Arus Yang Dapat Menyebabkan Kematian. |
|--------|---|

Beberapa keadaan yang bisa menyebabkan seseorang mengalami kejutan listrik di gardu induk yaitu [7]:

- Arus gangguan yang relatif tinggi ke tanah dalam kaitannya dengan area sistem pentanahan.
- Kehadiran seseorang pada titik, waktu, dan posisi sedemikian rupa sehingga tubuh menjembatani dua titik perbedaan potensial yang tinggi.
- Tidak adanya resistansi kontak yang cukup atau hambatan seri lainnya untuk membatasi arus melalui tubuh ke nilai yang aman.
- Durasi gangguan dan kontak tubuh dan karenanya, aliran arus melalui tubuh manusia mempunyai waktu yang cukup untuk menyebabkan kerusakan pada intensitas arus yang diberikan.

2.4 Resistansi Pembumian

Resistansi adalah jumlah dari resistansi elektroda atau resistansi hantaran. Resistansi pembumian dapat diartikan besarnya resistansi pada kontak atau hubungan antara elektroda pembumian dengan tanah.

Nilai resistansi pembumian semakin kecil maka akan semakin baik, untuk perlindungan personil dan peralatan perlu diusahakan resistansi pentanahan lebih kecil dari 1 Ohm [8]. Syarat ini tidak praktis hanya untuk dilaksanakan dalam suatu sistem distribusi, saluran transmisi atau dalam substation distribusi, namun beberapa peralatan atau standar yang telah disepakati adalah bahwa saluran

transmisi, cabang (*substation*) harus direncanakan sedemikian rupa, sehingga resistansi pentanahan tidak melebihi 1 ohm. Gardu induk distribusi harga resistansi maksimum yang diperbolehkan adalah 5 Ohm, demikian juga halnya pada menara transmisi, untuk menghindari lompatan karena naiknya tegangan atau potensial pada waktu terjadi sambaran petir maka resistansi pentanahan pada kaki menara perlu dibuat sekecil mungkin (di Amerika kurang dari 10 Ohm).

Resistansi atau resistansi pembumian seperti yang telah dijelaskan di atas yaitu diharapkan bisa sekecil mungkin, namun untuk dapat mencapai nilai *grounding* yang diharapkan, tidak semua tempat bisa terpenuhi, karena disebabkan beberapa faktor yang mempengaruhinya.

Faktor yang mempengaruhi besar kecilnya resistansi pembumian adalah sebagai berikut [3]:

1. Bentuk elektroda.

Macam-macam bentuk elektroda sudah banyak digunakan, seperti jenis elektroda batang, elektroda pita dan elektroda pelat. Penggunaan elektroda ini tergantung dari segi pengguna tersebut

2. Jenis bahan dan ukuran elektroda.

Konsekwensi dari peletakan elektroda 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 atau konfigurasi elektroda.

Cara untuk mendapatkan resistansi pentanahan yang dikehendaki dan apabila tidak cukup dengan satu elektroda, bisa digunakan lebih banyak elektroda dengan bermacam-macam konfigurasi pemancangannya dalam tanah.

4. Kedalaman pemancangan di dalam tanah

Pemancangan ini bergantung dari jenis dan sifat-sifat tanah. Beberapa pemasangan elektroda pentanahan ada yang lebih efektif ditanam secara dalam, namun ada pula yang cukup ditanam secara dangkal. Tapi dengan pertimbangan mendapatkan nilai tahanan pbumian yang rendah maka diperlukan juga analisis secara teori untuk mendapatkan nilai tahanan pbumian yang rendah.

5. Faktor alam

- a. Jenis tanah: tanah gembur, berpasir, berbatu, rawa, dan lain-lain.
- b. *Moisture* tanah: semakin tinggi kelembaban atau kandungan air dalam tanah akan memperendah resistansi jenis tanah.
- c. Kandungan mineral tanah: air tanpa kandungan garam adalah isolator yang baik dan semakin tinggi kandungan garam maka akan memperendah resistansi jenis tanah, namun meningkatkan sifat korosi.

- d. Suhu tanah: suhu akan berpengaruh bila mencapai suhu beku dan di bawahnya.

Nilai resistansi *grounding* yang baik yaitu 5 Ohm yang umumnya di pakai tersebut bisa tercapai pada kondisi tanah yang normal. Tanah normal maksudnya adalah kondisi tanah sebagian besar terdiri dari tanah lanau (butiran tanah < 0.2 mm) bercampur dengan sedikit tanah liat (butiran tanah < 0.06 mm) atau sedikit kandungan pasir (butiran pasir < 2 mm) dengan sifat fisik sebagai berikut [9] :

1. Berat/isi : 1.4 – 1.7 ton/m³
2. Kadar Air : 20 – 30 % terhadap volume pori tanah
3. Pori Tanah : 15 – 20 % terhadap volume total
4. PH : 6 – 8

Kelembaban tanah sangat berpengaruh terhadap perubahan tahanan jenis tanah terutama kandungan air tanah sampai dengan 20%. Dalam salah satu test laboratorium untuk tanah merah penurunan kandungan air tanah dari 20% ke 10% menyebabkan tahanan jenis tanah sampai 30 kali. Kenaikan kandungan air tanah diatas 20% pengaruhnya sedikit sekali. Semakin lembab kondisi tanah maka kadar air pada lapisan tanah tersebut semakin tinggi dan tahanan jenisnya akan semakin rendah.

2.5 Resistansi Jenis Tanah

Resistansi tanah berkaitan langsung dengan kandungan air dan suhu sehingga dapat diasumsikan bahwa resistansi suatu pembumian akan berubah

sesuai dengan perubahan iklim setiap tahunnya. Suhu akan lebih stabil pada kedalaman yang lebih dalam untuk bekerja dengan efektif sepanjang waktu. Sistem pembumian dapat dikonstruksikan dengan pasak tanah yang ditancapkan cukup dalam di bawah permukaan tanah. Hasil terbaik akan diperoleh apabila kedalaman pasak mencapai tingkat kedalaman air yang tetap.

Tahanan jenis tanah adalah sebuah faktor keseimbangan antara tahanan tanah dan kapasitansi disekitarnya yang di representasikan dengan ρ (rho) dalam sebuah persamaan matematik [10]. Tahanan jenis tanah dapat dihitung dengan menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$\rho = \frac{R \pi a^2}{\pi} \quad (2.2)$$

dimana :

ρ = resistansi jenis rata-rata tanah (*ohm-meter*)

a = jarak antara batang pentanahan yang terdekat (*meter*)

R = besar resistans yang terukur (*ohm*)

Resistansi jenis tanah sangat menentukan resistansi pentanahan dari elektrodaelektroda pentanahan. Resistansi jenis tanah diberikan dalam satuan Ohm-meter, yang mempresentasikan resistansi tanah yang diukur dari tanah yang berbentuk kubus yang berisi 1 meter. Penentuan resistansi jenis tanah ini tidak hanya bergantung pada jenis tanah saja, melainkan dipengaruhi oleh kelembaban tanah, kandungan mineral yang dimiliki tanah dan lainnya. Oleh karena itu

resistansi jenis tanah bisa berbeda-beda dari satu tempat dengan tempat yang lain bergantung dengan sifat-sifat yang dimilikinya [3].

Beberapa faktor yang mempengaruhi tahanan jenis tanah yaitu [4]:

a. Keadaan Struktur Tanah

Kesulitan yang biasa dijumpai dalam mengukur tahanan jenis tanah adalah bahwa dalam kenyataannya komposisi tanah tidaklah homogen pada seluruh volume tanah, dapat bervariasi secara vertikal maupun horizontal, sehingga pada lapisan tertentu mungkin terdapat dua atau lebih jenis tanah dengan tahanan jenis yang berbeda. Oleh karena itu tahanan jenis tanah tidak dapat diberikan sebagai suatu nilai yang tetap. Untuk memperoleh harga sebenarnya dari tahanan jenis tanah, harus dilakukan pengukuran langsung ditempat dengan memperbanyak titik pengukuran.

b. Unsur Kimia

Kandungan zat-zat kimia dalam tanah terutama sejumlah zat organik maupun anorganik yang dapat larut perlu untuk diperhatikan pula. Didaerah yang mempunyai tingkat curah hujan tinggi biasanya mempunyai tahanan jenis tanah yang tinggi disebabkan garam yang terkandung pada lapisan atas larut. Pada daerah yang demikian ini untuk memperoleh pentanahan yang efektif yaitu dengan menanam elektroda pada kedalaman yang lebih dalam dimana larutan garam masih terdapat. Untuk mendapatkan tahanan jenis tanah yang lebih rendah, sering dicoba dengan mengubah komposisi kimia

tanah dengan memberikan garam pada tanah dekat elektroda pembedaan ditanam.

c. Iklim

Iklim juga mempengaruhi besarnya nilai tahanan jenis tanah. Untuk mengurangi variasi tahanan jenis tanah akibat pengaruh musim, pembedaan dapat dilakukan dengan menanam elektroda pembedaan sampai mencapai kedalaman dimana terdapat air tanah yang konstan.

d. Temperatur Tanah

Temperatur tanah sekitar elektroda pembedaan juga berpengaruh pada besarnya tahanan jenis tanah. Hal ini terlihat sekali pengaruhnya pada temperatur di bawah titik beku air (0°C), dibawah harga inipenurunan temperatur yang sedikit saja akan menyebabkan kenaikan harga tahanan jenis tanah dengan cepat.

Resistansi jenis tanah sangat menentukan resistansi pentanahan dari elektroda-elektroda pentanahan. Resistansi jenis tanah diberikan dalam satuan Ohm-meter, yang mempresentasikan resistansi tanah yang diukur dari tanah yang berbentuk kubus yang berisi 1 meter. Penentuan resistansi jenis tanah ini tidak hanya bergantung pada jenis tanah saja, melainkan dipengaruhi oleh kelembaban tanah, kandungan mineral yang dimiliki tanah dan suhu (suhu tidak berpengaruh apabila di atas titik beku air), oleh karena itu resistansi jenis tanah bisa berbeda-beda

dari satu tempat dengan tempat yang lain bergantung dengan sifat-sifat yang dimilikinya [3].

Sering dicoba untuk merubah komposisi kimia tanah dengan memberikan garam pada tanah dekat elektroda pentanahan dengan maksud untuk mendapatkan resistansi jenis tanah yang rendah, namun cara ini hanya baik untuk sementara, sebab proses penggaraman harus dilakukan secara periodik, sedikitnya enam bulan sekali. Pemberian air atau membasahi tanah juga dapat mengubah resistansi jenis tanah.

Secara umum harga-harga resistansi jenis ini diperlihatkan pada tabel berikut ini [2]:

Tabel 2.4 Resistansi jenis tanah

| 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 |

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

tanah bisa berubah-ubah antara musim yang satu dan musim yang lain, hal ini harus benar-benar dipertimbangkan dalam perancangan sistem pentanahan. Apabila terjadi hal semacam ini, maka yang bisa digunakan sebagai patokan adalah kondisi ketika resistansi jenis pentanahan yang tertinggi, ini sebagai antisipasi agar resistansi pentanahan tetap memenuhi syarat pada musim kapan resistansi jenis pentanahan tinggi, misalnya pada saat musim kemarau.

2.6 Elektroda Pentanahan

Elektroda pentanahan adalah penghantar yang ditanam dalam tanah dan membuat kontak langsung dengan tanah. Penghantar bumi yang tidak berisolasi ditanam dalam tanah dianggap juga sebagai elektroda pentanahan [2]. Bahan elektroda pentanahan yang sering digunakan adalah tembaga atau baja yang digalvanis atau dilapisi tembaga, sepanjang kondisi setempat tidak mengharuskan memakai bahan lain. Ukuran standar minimum elektroda bumi dapat dilihat pada tabel di bawah ini [2]:

Tabel 2.5 Luas penampang minimum elektroda bumi

| No | Bahan Jenis Elektroda | Baja Digalvanisasi Dengan Proses Pemanasan | Baja Berlapis Tembaga | Tembaga |
|----|-----------------------|---|-----------------------|---|
| 1. | Elektroda Pita | Pipa baja 100 mm ² setebal minimal 3 mm | 50 mm ² | Pita tembaga 50 mm ² tebal minimal 2 mm |
| | | Penghantar pilin 95 mm ² (bukan kawat halus) | | Penghantar pilin 35 mm ² (bukan kawat halus) |

Sambungan Tabel 2.5.

| No | Bahan Jenis Elektroda | Baja Digalvanisasi Dengan Proses Pemanasan | Baja Berlapis Tembaga | Tembaga |
|----|-----------------------|---|---|--|
| 2. | Elektroda Batang | <input type="checkbox"/> Pipa baja 25 mm <input type="checkbox"/> Baja profil (mm) L 65 x 65 x 7 U 6,5 T 6 x 50 x 3 <input type="checkbox"/> 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 – 1 m ² | | Pelat tembaga tebal 2mm, luas 0,5 – 1 m ² |

Ukuran elektroda pentanahan akan menentukan besar resistansi pentanahan nantinya. Tabel 2.5 memuat ukuran-ukuran elektroda pentanahan yang umum digunakan dalam sistem pentanahan dan dapat digunakan sebagai petunjuk tentang pemilihan jenis, bahan dan luas penampang elektroda pentanahan yang akan dipakai.

Resistansi pembumian dari elektroda bumi bergantung pada jenis dan keadaan tanah serta pada ukuran dan susunan elektroda yang akan di pakai [2]. Resistansi pembumian suatu elektroda harus dapat diukur, untuk keperluan tersebut penghantar yang menghubungkan setiap elektroda bumi atau susunan elektroda bumi harus dilengkapi dengan hubungan yang dapat dilepaskan maka pada penghantar bumi harus dipasang sambungan yang dapat dilepaskan untuk keperluan pengujian resistansi pembumian nantinya pada tempat yang mudah

dicapai dan sedapat mungkin memanfaatkan sambungan yang susunan instalasinya memang ada [2].

Resistansi pentanahan total dari suatu rumah tangga belum dapat ditentukan dari hasil pengukuran suatu elektroda. Cara untuk mencapai nilai resistansi pembedaan sebesar 5Ω pada tanah liat atau tanah ladang dengan resistansi jenis 100Ω -meter diperlukan sebuah elektroda pita yang panjangnya 50 meter atau empat buah elektroda batang yang panjangnya masing-masing 5 meter dan jarak antarelektrodaelektroda tersebut minimum harus dua kali dari panjangnya [2]. Apabila inginmendapatkan nilai resistansi pentanahan yang diizinkan, maka dalam pemasangan elektroda harus diperhatikan hal-hal sebagai berikut:

- a. Permukaan elektroda harus dihubungkan baik dengan tanah sekitarnya.
- b. Sambungan antara penghantar tanah dengan elektroda tanah harus kuat secara mekanis dan menjamin hubungan listrik dalam keadaan baik, misalnya dengan menggunakan klem atau baut yang tidak mudah lepas dan tidak mudah terkena karat akibat terpendam dalam tanah.
- c. Sambungan antar penghantar tanah dengan elektroda tanah yang didalam tanah harus dilindungi dengan bahan anti korosi.

Indonesia mempunyai beberapa jenis elektroda pentanahan yang sering digunakan dalam sistem pentanahan, tujuan dari adanya peraturan mengenai jenis elektroda ini adalah untuk membatasi banyaknya jenis, dimensi dan mutu elektroda pentanahan serta memberikan pegangan yang terarah bagi pemesan, pembuat, maupun penguji pentanahan nantinya [9], di antaranya:

1. Elektroda Pita

Elektroda pita adalah elektroda yang terbuat dari hantaran yang berbentuk pita atau berpenampang bulat atau hantaran pilin. Pemasangan elektroda pentanahan mempunyai kombinasi bentuk antara lain memanjang dengan cara radial, melingkar atau kombinasi dari bentuk tersebut. Apabila keadaan tanah mengizinkan, elektroda pita harus ditanam sedalam 0,5 sampai 1,0 m secara horisontal didalam tanah [2]. Elektroda pita ialah elektroda yang terbuat dari hantaran berbentuk pita atau berpenampang bulat atau hantaran pilin yang pada umumnya ditanam secara dangkal. Pemasangan ini akan bermasalah apabila mendapati lapisan-lapisan tanah yang berbatu, disamping sulit dalam pemasangannya, untuk mendapatkan nilai resistansi yang rendah juga akan bermasalah, sebagai pengganti untuk pemasangan secara vertikal ke dalam tanah dapat dilakukan dengan menanam batang hantaran secara mendatar (horisontal) dan dangkal. Resistansi pentanahan yang dihasilkan juga sangat dipengaruhi oleh bentuk konfigurasi elektrodanya, seperti dalam bentuk melingkar, radial atau kombinasi antar keduanya [3].



Gambar 2.2 Elektroda Pita

Rumus perhitungan resistansi pentanahan [3]:

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

Keterangan:

R_W = Resistansi dengan kisi-kisi grid kawat (Ohm)

ρ = Resistansi jenis tanah (Ohm-meter)

L_W = Panjang total grid kawat (m)

d_w = Diameter kawat (m^2)

Z_w = Kedalaman penanaman (m)

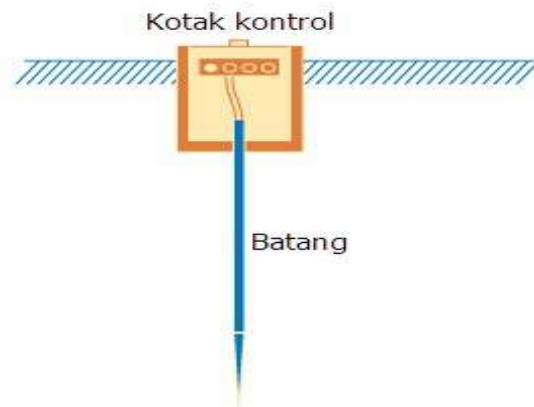
A_w = Luasan yang dicakup oleh grid (m^2)

2. Elektroda Batang

Elektroda batang adalah elektroda dari besi atau baja profil yang dipasang tegak lurus ke dalam tanah. Umumnya digunakan batang tembaga dengan diameter 5/8 inc sampai 3/4 inc, panjang 4 m, atau bisa juga pipa galvanis dengan diameter 1 inc sampai 2 inc, panjang 6 m [2], sedangkan elektroda batang adalah elektroda dari pipa atau besi baja profil yang dipancangkan ke dalam tanah[3]. 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 sekali pemasangannya, yaitu tinggal memancangkan ke dalam tanah, selain itu, elektroda ini tidak memerlukan lahan yang luas.

Elektroda batang harus dipasang secara tegak lurus ke dalam tanah, dengan bagian batang atas terletak 30 cm di bawah permukaan tanah. Panjang elektroda harus disesuaikan dengan resistansi pentanahan yang diperlukan, untuk memperoleh nilai resistansi pentanahan yang kecil, maka diperlukan beberapa elektroda batang yang pemasangan jarak antar elektroda tersebut minimum harus dua kali panjangnya.



Gambar 2.3 Elektroda Batang

Rumus resistansi pentanahan elektroda Batang-Tunggal [3]:

$$R_G = R_R = \frac{\rho}{2\pi d_R} \left[\ln\left(\frac{4L_R}{A_R}\right) - 1 \right] \quad (2.4)$$

Keterangan:

R_G = Resistansi pentanahan (Ohm)

R_R = Resistansi pentanahan untuk batang tunggal (Ohm)

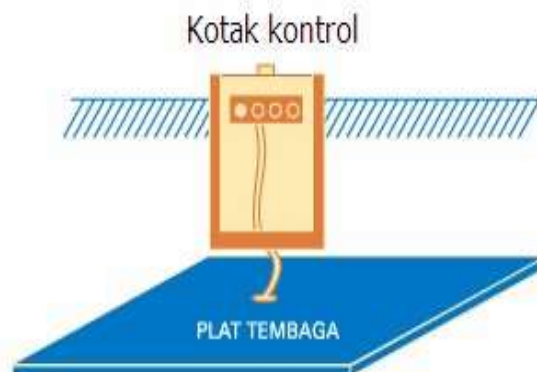
ρ = Resistansi jenis tanah (Ohm-meter)

L_R = Panjang elektroda (m)

A_R = Diameter elektroda (m)

3. Elektroda Pelat

Elektroda pelat adalah elektroda yang terbuat dari bahan pelat logam (utuh atau berlubang) atau juga bisa dari kawat kasa. Elektroda pelat ditanam tegak lurus di dalam tanah dan umumnya cukup dengan plat ukuran 4m x 0,5m. Cara untuk memperoleh resistansi pentanahan yang lebih rendah, maka beberapa pelat dapat digunakan secara bersama dengan rangkaian paralel [2]. Elektroda pelat adalah elektroda dari bahan pelat logam atau dari kawat kasa yang umumnya elektroda ini ditanam dalam. Elektroda ini digunakan apabila diinginkan resistansi pentanahan yang kecil dan sulit diperoleh dengan menggunakan jenis-jenis elektroda yang lain [3].



Gambar 2.4 Elektroda Pelat

Rumus perhitungan resistansi pentanahan elektroda pelat tunggal

[3]:

$$R_G = R_P = \frac{\rho}{2\pi L_P} \left[\ln\left(\frac{8W_P}{0,5W_P + T_P}\right) - 1 \right] \quad (2.5)$$

Keterangan:

R_p = Resistansi pentanahan (Ohm)

ρ = Resistansi jenis tanah (Ohm-meter)

L_p = Panjang pelat (m)

W_p = Lebar pelat (m)

T_p = Tebal pelat (m)

Elektroda pentanahan pada rumah tangga yang umum dipakai adalah elektroda batang bulat, syarat-syarat elektroda batang bulat adalah [11]:

a. Syarat Bahan:

1. Batang baja elektroda: Batang baja elektroda harus terbuat dari baja karbon tinggi dengan tarik minimum 51 kg/mm^2 , serta mempunyai kekerasan minimum 74 HrB.
2. Lapisan tembaga: Lapisan tembaga harus mempunyai kadar tembaga minimum 99,9 %.

3. Klem dan baut: Klem dan baut harus terbuat dari tembaga paduan dengan kadar tembaga minimum 60 %.

b. Syarat Mutu:

1. Sifat tampak: Elektroda bumi harus mempunyai permukaan yang halus, rata, bersih, tidak berpori dan harus terlihat lurus, sedangkan pada klem, tidak boleh terlihat cacat yang dapat mengganggu fungsi.
2. Sifat mekanis: Elektroda harus mampu ditancapkan tegak lurus ke dalam tanah normal, tidak boleh retak, pecah atau bengkok.
3. Korosi: Batas maksimum laju korosi yang terjadi pada batang elektroda bumi ini sebesar $50 \text{ mg/dm}^2/\text{hari}$.
4. Sifat listrik: Nilai resistansi elektroda pentanahan maksimum yang boleh dicapai adalah $5 \times 10^{-3} \text{ Ohm-meter}$ pada suhu 27°C .

2.7 Pengukuran Resistansi Penumbumian

Pentingnya sistem penumbumian listrik baik dalam sistem tenaga listrik AC (*Alternating Current*) maupun dalam sistem penumbumian peralatan untuk menghindari sengatan listrik bagi manusia, rusaknya peralatan dan terganggunya pelayanan sistem akibat gangguan tanah ini, maka untuk menjamin sistem penumbumian memenuhi persyaratan perlu dilakukan pengujian atau pengukuran resistansi penumbumian. Pengujian ini dilakukan setelah dilakukan pemasangan elektroda atau setelah perbaikan secara periodik yaitu setiap 5 tahun sekali, khususnya untuk rumah-rumah yang umurnya lebih dari 15 tahun. Berdasarkan pentingnya sistem penumbumian tersebut, maka perlu dilakukan pengukuran atau

pengujian untuk dapat memastikan resistansi pembumian yang telah ada tersebut masih memenuhi syarat yang telah ditentukan PUIL 2000 atau tidak.

Sekarang ini telah ada di pasaran alat ukur resistansi pembumian yang sering disebut dengan nama *Earthtester* atau *Groundtester*. Mulai dari yang untuk beberapa fungsi pengukuran saja sampai dengan yang memiliki fungsi pengukuran secara kompleks, penunjukan alat ukur ini ada yang analog dan digital dengan cara pengoperasian mudah serta aman.

Lingkungan kerja yang cukup luas saat ini, sangat diperlukan untuk menggunakan alat semacam ini. Berikut dijelaskan mengenai fungsi-fungsi pengujian atau pengukuran resistansi pembumian, teknik pengukuran yang presisi untuk elektroda tunggal maupun banyak.

a. Metode *Von Werner*

Metode ini disebut juga dengan metode empat batang, karena menggunakan empat buah elektroda dalam pengukurannya. Cara pengukuran dilakukan dengan terlebih dahulu mengatur jarak antar elektroda. Jarak antar elektroda adalah sejauh a meter, sehingga jarak antar terminal secara berurutan adalah sama. Alat ukur ini akan mengalirkan arus melalui terminal 1 dan 4 lalu susut tegangan pada terminal 2 dan 3 akan diukur. Jika beda tegangan antara terminal 2 dan 3 adalah ΔV , dan arus yang dialirkan melalui terminal 1 dan 4 adalah I , perbandingan ini adalah nilai resistansi pembumian yaitu sebesar R .

b. Pengukuran Menggunakan Voltmeter dan Amperemeter

Cara melakukan pengukuran ini adalah dengan cara penghantar pembumian dihubungkan dengan penghantar fasa instalasi melalui gawai proteksi arus lebih, saklar dan hambatan yang dapat diatur mulai 20Ω - 1000Ω pada amperemeter. Jarak antar elektroda disesuaikan dengan jenis elektroda yang digunakan, apabila elektroda batang atau pipa maka elektroda bantu harus berjarak sekurangnya 20 meter dari elektroda yang akan diukur. Apabila saklar dimasukkan (on), resistansi tersebut harus dalam keadaan maksimum dan resistansi diatur sedemikian rupa sehingga amperemeter dan voltmeter menunjukkan simpangan secukupnya yang sesuai dengan apa yang diharapkan oleh operator. Hasil pengukuran antara tegangan dan arus yang telah ditunjukkan oleh alat ukur tersebut adalah menunjukkan resistansi pembumian yang diukur.

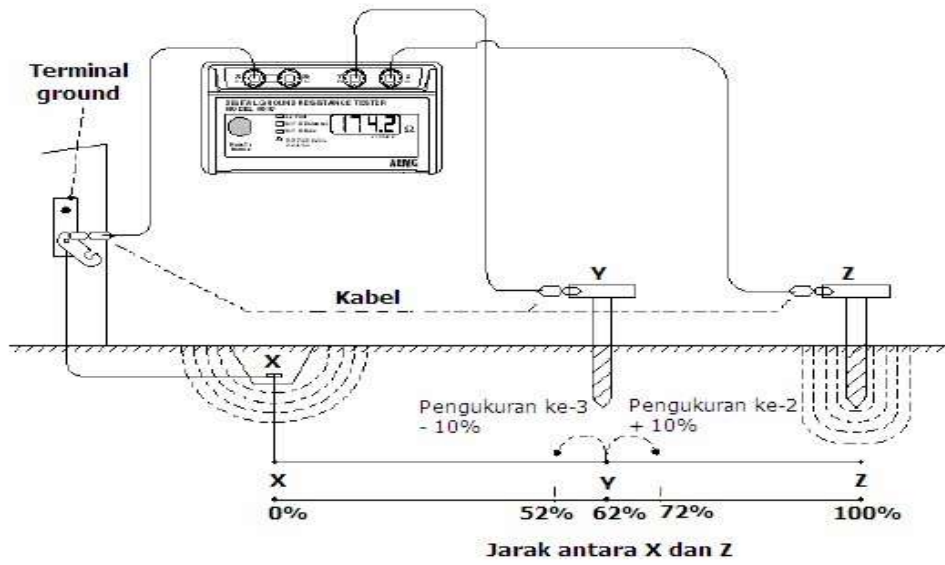
c. Pengukuran Resistansi Pembumian dengan Menggunakan *Earthtester* [3]

Instrumen pengukuran resistansi pembumian yang digunakan ada berbagai macam, salah satunya adalah dengan menggunakan *Earth Hi tester*.

d. Pengukuran Resistansi Elektroda Pentanahan Menggunakan Metode 62 % [3]

Metode 62 % digunakan setelah mempertimbangkan secara grafis dan setelah dilakukan pengujian. Metode ini merupakan yang paling akurat

namun hanya terbatas pada elektroda tunggal. Metode ini hanya dapat digunakan untuk elektroda-elektroda yang tersusun berjajar secara garis lurus dan pentanahannya menggunakan elektroda pipa, tunggal atau pelat.



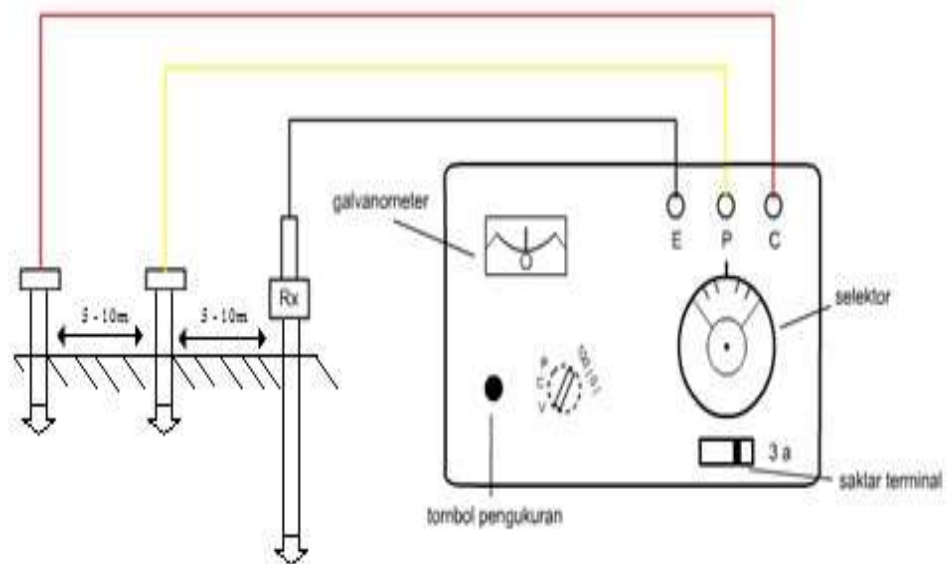
Gambar 2.5 Pengukuran resistansi elektroda pentanahan menggunakan metode 62%

e. Pengukuran Normal (Metode Tiga Kutub)

Langkah awal pengukuran adalah dengan cara memposisikan saklar terminal pada 3a, selanjutnya:

- a. Cek tegangan baterai (*Range* saklar: BATT, aktifkan saklar/*ON*).
Jarum harus dalam *range* BATT.
- b. Cek tegangan pentanahan (*Range* saklar: \sim V, matikan saklar/*OFF*).
- c. Cek resistansi pentanahan bantu (*Range* saklar: C & P, matikan saklar/*OFF*). Jarum harus dalam *range* P/C (lebih baik posisi jarum

pada saklar 0). Ukurlah resistansi pentanahan (*Range* saklar: x 1Ω ke x 100Ω) dengan menekan tombol pengukuran dan memutar selektor, sehingga diperoleh jarum pada galvanometer seimbang atau menunjuk angka nol. Hasil pengukuran adalah angka yang telah ditunjukkan pada selektor dikalikan dengan posisi range saklar (x 1Ω) atau (x 100Ω).

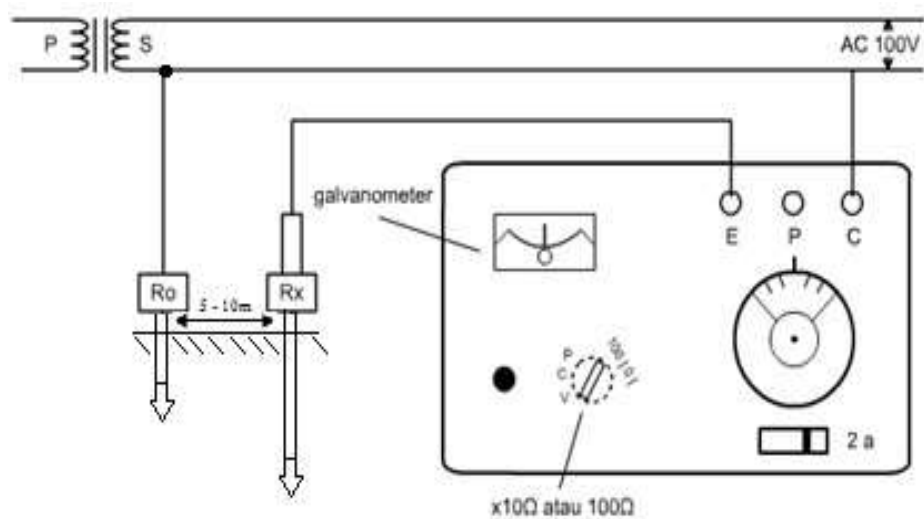


Gambar 2.6 Pengukuran metoda normal (metoda 3 kutub)

f. Pengukuran Praktis (Metoda Dua Kutub)

Langkah awal adalah dengan memposisikan saklar terminal pada 2a. Apabila jalur pembumian digunakan untuk titik referensi pengukuran bersama, maka sambungan yang terhubung dengan pentanahan itu harus selalu terhubung dengan tanah, kemudian jika terjadi bunyi bip, maka segera putuskan dan cek kembali.

- a. Cek tegangan baterai dan cek tegangan pentanahan dengan cara hampir sama dengan metode pengukuran normal, hanya pengecekan tekanan resistansi bantu tidak diperlukan.
- b. Ukur resistansi pentanahan (*Range* saklar: $\times 10\Omega$ atau $\times 100\Omega$), maka hasil pengukuran adalah $= R_x + R_o$.



Gambar 2.7 Pengukuran metoda praktis (Metoda 2 kutub)

2.8 Jarak Peletakan Elektroda Bantu

Jarak antara X dan Y tidak ada ketentuan yang mengatur secara pasti, karena jarak tersebut relatif terhadap diameter dan panjang elektroda yang diuji, kondisi tanah dan daerah resistansi efektifnya. Terdapat beberapa hasil empiris yang dapat digunakan sebagai bantuan dalam penentuan jarak seperti yang ditunjukkan dalam tabel di bawah ini. Harga jarak ini dibuat pada kondisi tanah homogen, diameter elektroda 1". (Untuk diameter ½", memendekkan jarak 10% dan untuk diameter 2" memanjangkan jarak 10%) [3]

Tabel 2.6 Jarak elektroda-elektroda bantu menggunakan metoda 62% (ft)

| Kedalaman Pemancangan (ft) | Jarak ke Y (ft) | Jarak ke Z (ft) |
|----------------------------|-----------------|-----------------|
| 6 | 45 | 72 |
| 8 | 50 | 80 |
| 10 | 55 | 88 |
| 12 | 60 | 96 |
| 18 | 71 | 115 |
| 20 | 74 | 120 |
| 30 | 86 | 140 |

2.9 Penghantar Pembumian

Penghantar pembumian adalah penghantar pengaman yang digunakan pada sistem pembumian, yaitu untuk menghubungkan sistem pentanahan dari elektroda pentanahan ke terminal utama pentanahan dan dari terminal utama pentanahan sampai ke peralatan listrik yang dibumikan. Penghantar tanah ini harus dibuat dari bahan tembaga, aluminium, baja atau perpaduan dari bahan-bahan tersebut.

Berdasarkan kekuatan mekanisnya, luas penampang minimum penghantar bumi yaitu:

1. Penghantar yang terlindung kokoh secara mekanis $1,5 \text{ mm}^2$ tembaga atau $2,5 \text{ mm}^2$ aluminium.

2. Penghantar yang tidak terlindungi kokoh secara mekanis 4 mm^2 tembaga atau pita baja yang tebalnya $2,5 \text{ mm}^2$ dan luas penampangnya sebesar 50 mm^2 .

Ukuran penghantar pembumian pada rangkaian cabang instalasi akan berbeda dengan penampang penghantar pentanahan pada sistem saluran utama, untuk ukuran penampang penghantar pentanahan pada saluran utama akan lebih besar dari saluran cabang instalasi disesuaikan dengan luas penampang penghantar fasanya.

Sambungan antara hantaran pentanahan dengan elektroda pentanahan harus mekanis kuat dan membuat kontak listrik yang baik, sambungan ini dapat berupa sambungan las atau baut yang tidak mudah lepas dengan sendiri. Diameter baut yang digunakan sekurang-kurangnya adalah sebesar 10 mm , hantaran pembumian yang dipasang di atas tanah harus mudah terlihat dan jika tertutup harus mudah dicapai, jika perlu hantaran ini harus terlindungi dari bahaya kerusakan mekanis ataupun kimiawi. Penggunaan penghantar pembumian pada rumah tangga sebaiknya tidak digunakan penghantar pentanahan yang telanjang atau terbuka, penghantar yang berisolasi harus memiliki isolasi yang setara dengan isolasi dari penghantar fasa dan netralnya.

Penghantar pentanahan harus ada sambungan yang dapat dilepas untuk memisahkan bagian di atas tanah dan bagian yang di tanam di dalam tanah untuk proses keperluan pengujian. Sambungan ini harus dibuat ditempat yang mudah dicapai dan sedapat mungkin ditempat yang memang harus ada sambungannya.

Efektivitas sistem ini tidak hanya ditentukan oleh elektroda pentanahan, namun juga disebabkan oleh penghantar pentanahan atau hantaran yang digunakan dalam pengaman [3]. Hantaran pengaman ini harus diusahakan mempunyai nilai resistansi sekecil mungkin dan disesuaikan dengan komponen instalasi lain seperti pengaman arus lebih dan hantaran fasanya. Alat pengaman arus lebih dan ukuran hantaran fasa adalah sepaket karena alat pengaman tersebut juga berfungsi sebagai pengaman hantaran pembumian, oleh karena itu, dalam penentuan hantaran pengaman dapat dilakukan berdasarkan ukuran hantaran fasa yang dipakai. Kondisi hantaran mempunyai konsekwensi terhadap dampak yang mungkin terjadi nantinya. Hantaran berisolasi berinti satu mempunyai resistansi isolasi yang berbeda dibandingkan dengan yang memiliki ini banyak, begitu juga dengan hantaran telanjang yang dilindungi dan yang tidak dilindungi juga mempunyai konsekwensi yang berbeda. Tabel di bawah ini memberikan petunjuk tentang luas penampang minimum dari beberapa jenis kondisi hantaran pengaman.

2.10 Persentase Penurunan Nilai Tahanan Pembumian

Penurunan nilai tahanan pentanahan disebabkan oleh beberapa faktor diantaranya, yaitu tahanan jenis tanah, ukuran elektroda, jenis elektroda yang digunakan, jumlah elektroda yang digunakan dan kedalaman penanaman elektroda. Tahanan jenis tanah dapat diperkecil dengan menambahkan zat kimia seperti NaCL, bentonit, gypsum dan arang. Setelah melaukukan perbaikan nilai tahanan pentanahan maka dapat dihitung persentase penurunan nilai tahanan pentanahannya dengan persamaan berikut ini.

$$\text{Persentase Penurunan R (\%)} = \frac{\text{Kondisi awal } (\Omega) - \text{Kondisi Akhir } (\Omega)}{\text{Kondisi Awal } (\Omega)} \times 100 \% \quad (2.6)$$

Nilai persentase penurunan tahanan pentanahan akan menjadi acuan keefektifitasan penambahan zat kimia dalam perbaikan sistem pentanahan.