

# **BAB I**

## **PENDAHULUAN**

### **1.1 Latar Belakang**

Sistem pentanahan jaringan gardu induk merupakan bagian penting dari infrastruktur penyediaan tenaga listrik. Pentanahan bertujuan untuk melindungi peralatan, sentuhan tegangan, dan gangguan hubung singkat yang menimbulkan bahaya yang tidak diinginkan. Pada gardu induk 150 kV, sistem pentanahan dirancang untuk menyalurkan arus gangguan dan memastikan bahwa tegangan yang muncul akibat gangguan tetap dalam batas aman. Selain itu, sistem pentanahan juga berperan dalam memastikan kontinuitas/pelayanan tenaga listrik serta meminimalkan gangguan yang disebabkan oleh petir. Sistem pentanahan, juga dikenal sebagai grounding system, adalah sistem penghubung penghantar yang menghubungkan sistem, peralatan, dan instalasi dengan tanah untuk melindungi komponen-komponen instalasi dari bahaya tegangan atau arus abnormal. Sebagai bagian dari sistem tenaga listrik, sistem pentanahan memiliki fungsi menyetanahkan apabila terjadi gangguan seperti muatan tegangan atau arus lebih, sehingga dapat meminimalkan gangguan.

Sistem pentanahan jaringan gardu induk 150 kV terdiri dari elektroda pentanahan, konduktor pentanahan, dan sistem penghubung yang terintegrasi dengan baik. Elektroda pentanahan biasanya terbuat dari material konduktif yang ditanam pada tanah dengan kedalaman tertentu. Konduktor pentanahan berperan sebagai penghubung antara peralatan listrik dan elektroda pentanahan. Sistem penghubung ini dirancang untuk menyalurkan arus gangguan ke elektroda pentanahan dengan efisien.[2]

Sistem pentanahan merupakan salah satu bentuk sistem yang terintegrasi pada sistem ketenagalistrikan dan dimasukkan untuk keamanan sistem secara keseluruhan dari gangguan yang memungkinkan terjadinya kerusakan pada peralatan sehingga berakibat pada putusnya kontinuitas pelayanan daya kepada konsumen (merugikan pelanggan/konsumen listrik). Secara garis besar, tujuan dari pentanahan adalah untuk memadamkan busur listrik yang bisa timbul pada tanah jika terjadi gangguan arus yang besar dan membatasi tegangan pada fasa-fasa yang belum mengalami gangguan listrik. Gangguan yang sering terjadi ialah gangguan hubung-singkat (short-circuit). Besar dari arus hubung-singkat ini tergantung dari jenis dan sifat gangguan, kapasitas dari sumber daya, konfigurasi dari sistem, metoda hubungan netral dari

trafo, jarak gangguan dari unit pembangkit, angka pengenal dari peralatan-peralatan utama dan alat-alat pembatas arus, lamanya hubung-singkat, dan kecepatan beraksi dari alat-alat pengaman. Gangguan hubung-singkat tidak hanya dapat merusak peralatan atau elemen-elemen sirkuit, tetapi juga dapat menyebabkan jatuhnya tegangan dan frekuensi sistem sehingga kerja paralel dari unit-unit pembangkit menjadi terganggu.[6]

Oleh karena itu, penting untuk mengetahui nilai arus gangguan pada gardu induk. Pengetahuan tentang nilai arus gangguan dapat membantu dalam merencanakan sistem proteksi nilai arus gangguan digunakan untuk menentukan setting relai proteksi sehingga sistem proteksi dapat bekerja dengan tepat dan cepat saat terjadi gangguan, memilih peralatan nilai arus gangguan digunakan untuk memilih peralatan yang sesuai dengan kemampuan withstand terhadap arus gangguan, menganalisis stabilitas sistem, nilai arus gangguan digunakan untuk menganalisis stabilitas sistem tenaga listrik sehingga dapat dilakukan langkah-langkah untuk meningkatkan stabilitas sistem. ,maka pada tugas akhir ini akan mencari data arus gangguan dan mengukur tahanan pentanahan/pembumiannya dan melihat kemana arus gangguan yang disalurkan, apakah mampu atau tidak mampu menyalurkan arus gangguan dari hasil pengukuran.

Berdasarkan uraian masalah diatas, gangguan terhadap pertanahan pada jaringan induk dapat membahayakan manusia, peralatan, dan sistem ketenagalistrikan. Kemungkinan besar gangguan tersebut akan merusak peralatan sistem tenaga listrik dan membahayakan orang-orang di sekitarnya. Maka, pentanahan merupakan bagian penting dari sistem gardu induk untuk memastikan keamanan, keandalan, dan kelancaran operasi sistem ketenagalistrikan. Suatu Gardu Induk harus memiliki sistem pembumian yang aman dan handal sesuai dengan standar persyaratan yang berlaku. Maka perlu adanya suatu pengujian tingkat keamanan dan keandalan dari sistem pembumiannya.

Sehubungan dengan hal ini penulis melakukan pengujian dari sistem pembumian pada suatu gardu induk khususnya sistem pembumian grid-rod untuk mengetahui tingkat keamanan dan keandalannya. Oleh karena itu untuk mengetahui faktor faktor yang mempengaruhi gangguan dan mengatasi masalah tersebut, penulis melakukan penelitian tentang **ANALISIS SISTEM PENTANAHAN JARINGAN GARDU INDUK 150 KV DI MABAR** dilakukan sebagai tugas akhir.

### **1.1 Rumusan Masalah**

Rumusan masalah utama dalam penelitian ini adalah:

1. Bagaimana Nilai Resistansi Pentanahan pada Gardu Induk 150 KV di Mabar.
2. Bagaimana Luas Penampang yang digunakan Pada Sistem Pentanahan Gardu Induk 150 KV Di Mabar Apakah Sudah Aman Menurut Standart IEEE 80-2013.
3. Bagaimana Pengaruh Kedalaman Batang Elektroda Terhadap Nilai Resistansi.

## **1.2 Tujuan Penelitian**

Tujuan penelitian ini adalah:

1. Mengetahui Nilai Resistansi Pentanahan pada Gardu Induk 150 KV di Mabar.
2. Mengetahui luas Penampang yang digunakan pada Sistem Pentanahan Gardu Induk 150 KV di Mabar.
3. Mengetahui Pengaruh Kedalaman Penanaman Sistem Pentanahan Terhadap Nilai Resistansi Pentanahan Pada Gardu Induk.

## **1.3 Batasan Masalah**

Batasan masalah pada penelitian ini yaitu kinerja dari sistem grid-rod pada suatu gardu induk, pada sistem pentanahan grid-rod dengan standar yang diizinkan berdasarkan standar kelistrikan serta perbandingan besarnya nilai tahanan pentanahan pada sistem pentanahan grid-rod dengan standar yang diizinkan berdasarkan standar kelistrikan.

## **1.4 Manfaat Penelitian**

1. Meningkatkan keamanan dan keandalan sistem kelistrikan di Gardu Induk 150 kV.
2. Memperpanjang usia pakai peralatan dan infrastruktur kelistrikan.
3. Mengurangi risiko kecelakaan dan kerusakan akibat tegangan listrik.
4. Memperdalam pengetahuan dan informasi terkait sistem pentanahan di industri kelistrikan

## **1.5 Sistematika Penulisan**

Penulisan laporan penelitian ini akan mengikuti sistematika sebagai berikut:

**BAB I : PENDAHULUAN**

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

**BAB II : LANDASAN TEORI**

Bab ini berisi tentang teori penunjang untuk bahan penelitian yang diperoleh dari sumber referensi untuk menyusun kerangka teori dan konseptual.

### **BAB III : METODE PENELITIAN**

Bab ini memuat metodologi dari penelitian yang digunakan berupa tempat dan waktu penelitian. Instrumen penelitian, metode pengumpulan data, jenis data, tahapan penelitian dan diagram alir penelitian.

### **BAB IV : HASIL DAN PEMBAHASAN**

Bab ini memuat hasil penelitian dan pembahasan dari hasil simulasi yang diperoleh.

### **BAB V : KESIMPULAN DAN SARAN**

Bab ini berisi tentang kesimpulan dari pembahahasan permasalahan dan saran-saran untuk perbaikan dan penyempurnaan tugas akhir.

### **DAFTAR PUSTAKA**

Berisi daftar literatur yang digunakan untuk memenuhi kelengkapan penelitian.

## **BAB II**

### **LANDASAN TEORI**

#### **2.1 Sistem Pentanahan**

Sistem Pentanahan peralatan adalah penghubungan bagian-bagian dari peralatan listrik yang pada keadaan normal tidak dilalui arus. Titik berat dari tujuan pembumian peralatan adalah untuk keselamatan orang yang berada dalam suatu daerah gardu induk pada saat terjadi suatu gangguan. Disamping itu pentanahan juga bertujuan untuk mencegah kemungkinan terjadinya kerusakan pada peralatan akibat gangguan tersebut. Definisi pentanahan (Grounding), berdasarkan IEEE dictionary (standard 100), adalah melakukan koneksi, baik disengaja atau tidak disengaja, sirkuit listrik atau peralatan ke bumi, atau ke bodi konduksi yang ditempatkan di bumi. Hal ini dilakukan untuk mempertahankan potensial bumi pada konduktor yang terhubung dan mengalirkan arus tanah menuju dan dari bumi. Menurut T.S. Hutaeruk (1991) . “ Tujuan

utama sistem pentanahan adalah untuk mendapatkan tahanan kontak langsung ke tanah yang cukup kecil". Untuk mengetahui sejauh mana tahanan kontak ke tanah dapat diperkecil, maka kita perlu rumus-rumus tahanan kontak ke tanah dari masing-masing sistem pembumian. J.M Nahman dan V.B Djorjevic (1997) berpendapat bahwa tahanan elektroda pembumian adalah salah satu parameter penting yang dapat menentukan kenaikan potensial pada peralatan yang terbuat dari metal. Selanjutnya beliau mengatakan bahwa tahanan pembumian dari grid yang ditanam pada kedalaman tertentu tergantung pada lapisan tanah tempat grid itu ditanam. Dalam kasus tanah uniform (homogen), bila kedalaman grid bertambah maka tahanan pentanahan menjadi berkurang. Tadjuddin (1998), dalam penelitiannya menyimpulkan bahwa tegangan permukaan tanah yang timbul saat terjadi pengaliran arus gangguan ke tanah tergantung pada :

- Parameter pembumian (jarak konduktor parallel  $D$  dan diameter elektroda pembumian,
- Struktur tanah ( $\rho_1/\rho_2$ , serta ketebalan lapisan tanah bagian atas,  $H$ )

Menurut F.D Dawalibi, J.Ma, R.D. Southy berpendapat bahwa performa pentanahan system grid ditinjau dari tahanan pentanahan dan tegangan sentuh, tergantung pada struktur tanah. tahanan pentanahan system grid yang ditanam pada kedalaman tertentu tergantung pada lapisan tanah tempat grid itu ditanam. Untuk tanah uniform bila kedalaman grid bertambah maka tahanan pentanahan semakin berkurang. selain itu dengan sejumlah konduktor dalam grid akan menyebabkan tegangan permukaan tanah semakin kecil dan terdistribusi dengan baik. Menurut F. P Dawalibi, J.M.Ma, R.D Southy berpendapat bahwa performa pentanahan system grid ditinjau dari tahanan pentanahan dan tegangan sentuh, tergantung pada struktur tanah. Tahanan pentanahan system grid yang ditanam pada kedalaman tertentu tergantung pada lapisan tanah tempat grid itu ditanam. Untuk tanah uniform bila kedalaman grid bertambah maka tahanan pentanahan semakin berkurang. Selain itu dengan sejumlah konduktor dalam grid akan menyebabkan tegangan permukaan tanah semakin kecil dan terdistribusi dengan baik. Pentanahan digambarkan sebagai suatu pelaksanaan koneksi atau hubungan listrik yang sengaja dilakukan dari beberapa bagian instalasi listrik kebumi. Sistem pembumian merupakan rangkaian atau jaringan yang terdiri atas kutub pembumian (elektroda), hantaran penghubung (konduktor) sampai terminal pembumian, yaitu terminal atau titik dimana perangkat dihubungkan. Sistem pentanahan ada dua macam yaitu pentanahan sistem (netral) dan pentanahan peralatan.

Pengertian Pentanahan (grounding) berdasarkan Kamus IEEE (Standar 100) adalah sambungan yang disengaja atau tidak disengaja dari suatu rangkaian atau perangkat listrik ke

ground atau ke badan konduktif yang dibumikan. Hal ini dilakukan untuk menjaga potensial ground dari konduktor yang terhubung dan mengarahkan arus ground ke dan dari ground. Kegunaan umum sistem kelistrikan di tanah adalah:

1. Mencegah terjadinya arus gangguan besar ( $> 5 \text{ A}$ ) ground arc
2. Melindungi penggunaan listrik dan lingkungan dari bahaya listrik
3. Melindungi peralatan
4. Untuk mencapai keandalan distribusi sistem dan kualitas distribusi tenaga listrik, keandalan yang, dalam hal konsistensi, dikendalikan oleh kebisingan, termasuk transien dari semua sumber. Membatasi kenaikan tegangan fase kontinyu (keseluruhan).

## **2.2 Keandalan Sistem Pertanahan**

Keandalan sistem distribusi tenaga listrik sangat penting untuk kenyamanan dan keamanan rumah tangga. Indeks keandalan menilai parameter peralatan distribusi tenaga listrik terhadap keandalan pelayanan pelanggan. Selama pengoperasian sistem tenaga listrik, adalah penting untuk memastikan bahwa peralatan dan peralatan berada dalam kondisi kerja normal. Faktanya, kondisi yang mengganggu kerja peralatan tersebut sering disebut sebagai kondisi abnormal atau gangguan. Gangguan sangat membahayakan keberlangsungan dan kelancaran sistem tenaga listrik. Peralatan tertentu tidak hanya terganggu, tetapi juga mengganggu operasi peralatan lainnya dalam sistem tenaga listrik. Gardu induk adalah komponen sistem tenaga listrik yang melakukan fungsi penting dalam menyalurkan tenaga listrik dari pusat pembangkit ke beban. Karena itu, karena sistem tenaga listrik bergantung pada keandalan sistem pelayanan, sistem tenaga listrik harus mampu memberikan keamanan yang baik bagi peralatan yang terpasang dan makhluk hidup yang berada di sekitar gardu induk. Pentanahan tenaga listrik, baik titik netral maupun perlengkapan, memengaruhi kelancaran dan keamanan sistem, terutama dalam kasus gangguan yang berhubungan dengan tanah. Diharapkan bahwa satu metode pentanahan dapat mengurangi kerugian yang disebabkan oleh gangguan petir untuk menjamin keandalan dan keamanan penyaluran tenaga listrik.

Pentanahan tidak hanya mencakup sistem tenaga, tetapi juga sistem elektronik seperti telekomunikasi, komputer, dll. Tujuan sistem pentanahan biasanya adalah untuk melindungi orang dari sengatan listrik, baik sentuh maupun langkah, memastikan bahwa peralatan listrik atau elektronik bekerja dengan baik, mencegah kerusakan peralatan, dan menyalurkan energi petir ke tanah.

Karena pentanahan merupakan bagian penting dari sistem proteksi, sistem pentanahan, termasuk pentanahan netral sistem tenaga listrik, pentanahan sistem penangkal petir, dan pentanahan peralatan, terutama peralatan telekomunikasi dan elektronik, harus diperhatikan dengan cermat. Pengetanahan sistem berbeda dengan pengetanahan peralatan.

## **2.3 Jenis Gangguan**

### **2.3.1 Gangguan Petir**

Petir adalah lompatan arus listrik raksasa bertegangan tinggi melalui atmosfer bumi sebagai akibat dari pembebasan atau pelepasan energi listrik. Salah satu gejala alam yang biasanya muncul selama musim hujan adalah petir, di mana kilat di langit muncul untuk sementara waktu dan kemudian disusul dengan guruh. Kelainan kecepatan suara dan cahaya menyebabkan perbedaan waktu kemunculan ini. Jika petir menyambar sesuatu, itu dapat membakarnya jika tidak dilindungi dengan alat penangkal petir yang baik. Untuk menghindari hal ini, penangkal petir harus dipasang dengan benar dan dilengkapi dengan sistem pentanahan yang baik. Sambaran petir dapat menyebabkan percikan api dan kebakaran. Mereka juga dapat menyebabkan kerusakan mekanis pada bangunan dan pohon, seperti memotong pohon.

Kerusakan akibat sambaran petir dapat digolongkan menjadi 2 golongan yaitu :

#### **1. Kerusakan Akibat Sambaran Langsung:**

Sambaran petir dapat menyebabkan kebakaran, kerusakan listrik dan elektronik, atau bahkan korban jiwa. Penanganannya adalah dengan memasang sistem penangkal petir eksternal yang terdiri dari air terminal, konduktor turun, dan elektroda pentanahan, atau elektroda tanah.

#### **2. Kerusakan Akibat Sambaran Tidak Langsung:**

Petir dapat menyambar di satu tempat dan mengirimkan induksi melalui aliran listrik PLN, telekomunikasi, pipa pam, dan peralatan besi lainnya hingga jarak 1 km dari lokasi petir. Karena komputer, TV, radio, dan peralatan elektronik lainnya tiba-tiba rusak atau terbakar tanpa sebab yang jelas. Proteksi petir internal, atau peredam surja, dipasang

Tidak ada sistem penangkal petir yang benar-benar melindungi bangunan sepenuhnya. Bahkan sistem yang dibuat dengan standar tidak menjamin bahwa bangunan tidak akan rusak.

Bahaya sambaran petir yang disebabkan oleh pentanahan yang tidak sesuai standar adalah sebagai berikut:

1. Kebakaran ataupun ledakan dipicu oleh panas dari sambaran petir.
2. Tidak dapat bernafas karena asap atau cedera yang disebabkan oleh kebakaran.
3. Bahaya struktur, seperti reruntuhan bangunan yang dapat runtuh akibat sambaran petir.
4. Kondisi tak aman, seperti bocoran air dari atap yang menyebabkan bahaya elektrik, kegagalan atau kerusakan sistem proses peralatan dan keamanan.

### **2.3.2 Gangguan Hubung Singkat**

Salah satu sumber gangguan sistem tenaga listrik adalah gangguan hubung singkat. Hal ini terjadi karena saluran fasa terhubung ke tanah atau saluran fasa lainnya. Hubungan singkat ini menyebabkan aliran arus yang sangat besar menuju titik gangguan. Aliran arus ini berasal dari arus kontribusi dari grid, generator, dan motor listrik AC. Gangguan ini memiliki nilai arus yang sangat besar dan dapat merusak peralatan listrik di sekitar titik gangguan. Akibatnya, tegangan yang terkait dengan gangguan dapat secara signifikan berkurang. Sambaran petir, kegagalan isolasi, atau gangguan akibat ranting pohon dan binatang dapat menyebabkan gangguan hubung singkat.

Gangguan hubung singkat ini sendiri dapat digolongkan menjadi dua kelompok yaitu: gangguan hubung singkat simetri dan gangguan hubung singkat tak simetri (asimetri).

#### **A. Gangguan hubung singkat simetri**

Gangguan hubung singkat simetri atau gangguan hubung singkat seimbang mengganggu ketiga fasanya sehingga arus dan tegangan setiap fasanya tetap seimbang.

#### **B. Gangguan Hubung Singkat Asimetri: Ini terdiri dari hubung singkat satu fasa ke tanah dan menyebabkan tegangan dan arus yang mengalir di setiap fasanya tidak seimbang.**

Arus gangguan tanah yang mengalir di tempat gangguan pada pengantanan gardu induk menimbulkan perbedaan tegangan permukaan tanah yang dapat menimbulkan terjadinya tegangan sentuh dan tegangan langkah yang dapat melampaui batas keamanan manusia dan binatang.

Tujuan dari perhitungan gangguan adalah untuk mengetahui arus maksimum dan minimum gangguan serta tegangan pada berbagai lokasi sistem tenaga untuk berbagai jenis



gangguan, sehingga rancangan pengaman, relai, dan pemutus yang tepat dapat dipilih untuk melindungi sistem dari kondisi yang tidak nol. Persamaan arus gangguan fasa ke tanah. [7]

a. Arus gangguan urutan nol satu fasa ke tanah ( $I_0$ ):

$$I_0 = \frac{E_A}{Z_1 + Z_2 + Z_3} \dots\dots\dots(2.1)$$

b. Arus gangguan satu fasa ke tanah :

$$3I_0 = \frac{3 E_A}{Z_1 + Z_2 + Z_3} \dots\dots\dots(2.2)$$

Keterangan:

- $I_0$  = arus gangguan tanah (A)
- $E_A$  = tegangan fasa ke fasa (V)
- $Z_0$  = impedansi urutan nol ( $\Omega$ )
- $Z_1$  = impedansi urutan positif ( $\Omega$ )
- $Z_2$  = impedansi urutan negative ( $\Omega$ )

Impedansi urutan positif  $Z_1$  dan impedansi urutan negative  $Z_2$  memiliki nilai yang sama. Hubungan netral dibumikan langsung maka nilai  $Z_N = 0$ , sehingga impedansi urutan nol pada transformator sama dengan impedansi masing-masing belitan sekunder transformator.

## 2.4 Proteksi

Sistem perlindungan yang digunakan sangat penting untuk keberlangsungan sistem tenaga listrik dalam melayani konsumen. Oleh karena itu, selama perancangan suatu sistem tenaga, analisis gangguan harus digunakan untuk mempertimbangkan kondisi gangguan yang mungkin terjadi pada sistem. Hasil analisis ini dapat digunakan untuk menentukan sistem proteksi yang digunakan, spesifikasi switchgear, rating circuit breaker (CB), dan penetapan besaran-besaran yang menentukan bekerjanya relay untuk kebutuhan proteksi.

Pemasangan sistem penangkal petir di bangunan harus memenuhi standar yang berlaku. Hal ini sangat penting karena jika standar tidak dipenuhi, sistem penangkal petir tidak akan berfungsi dengan baik. Sistem proteksi petir ini mengikuti standar SNI 03-7015-2004 tentang sistem proteksi petir pada bangunan gedung, PUIL 2011, dan IEC 622305-3.

Penangkal Petir: Petir kadang-kadang tiba di bumi dan dapat menyebabkan kebakaran, luka-luka, atau kematian. Muatan listrik memiliki sifat saling tarik menarik antara muatan positif dan negatif. Alat penangkal petir menggunakan sifat ini untuk menarik dan menyalurkan ke

tanah atau bumi melalui kabel yang disebut down conductor sebelum petir menyambar bangunan (SNI, 2011).

Down conductor menghubungkan petir yang ditarik dan disalurkan ke dalam tanah atau bumi. Ada beberapa jenis konduktor yang dapat digunakan untuk mengalirkan energi petir ke tanah, tergantung pada karakteristik utamanya. Struktur baja (rawan terhadap kerusakan atau gagal sambungan, menyebabkan loncatan petir dan adanya arus induksi di sekeliling arus petir) dan kabel coaxial (ada arus induksi disekap di dalam kabel).

Namun, lempeng, batang, atau kerucut tembaga dapat digunakan untuk grounding terminal. Sistem pentanahannya lebih baik jika permukaan terminalnya lebih luas dan tahanan tanahnya lebih rendah.

## 2.5 Sistem Pentanahan Grid – Rod

Sistem elektroda grid-rod adalah kombinasi sistem pembumian konduktor berbentuk kisi-kisi (grid) yang berdiri horizontal dengan permukaan tanah dan dibantu oleh batang elektroda vertikal (rod) yang dihubungkan untuk menembus permukaan tanah lapisan bawah. Sistem gabungan ini dianggap cukup efektif untuk meratakan tegangan dipermukaan tanah saat terjadi gangguan tanah dan menghasilkan tahanan pentanahan yang rendah.

Y.L Chow, M.M Elsherbiny dan M.M.A Salama (1996) mengatakan bahwa pada struktur tanah dua lapisan, hal yang penting adalah ketelitian hasil perhitungan tahanan pembumian. Dalam pentanahan sistem gabungan grid-rod nilai tahanan pembumian dipengaruhi oleh jumlah elektroda batang (rod) yang dihubungkan dengan grid.

Sistem pentanahan batang grid-rod hampir mirip dengan sistem grid, tetapi dengan tujuan memperkecil tahanan pentanahan, batang konduktor dapat ditanam lebih banyak. Apabila terjadi arus gangguan ke tanah, arus gangguan ini akan menyebabkan gradient tegangan permukaan tanah naik. Besarnya tegangan maksimum yang dihasilkan sebanding dengan tahanan pentanahan.

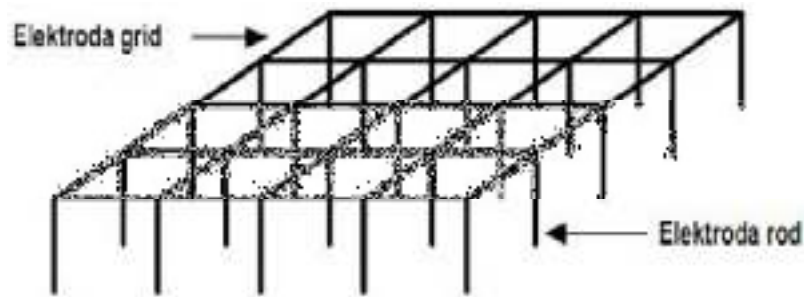
Untuk menghitung jumlah batang (rods) minimum yang dibutuhkan dihitung berdasarkan persamaan berikut.

$$N_{\min} = \frac{ig}{Lbixi} \dots\dots\dots (2.3)$$

Keterangan :

$N_{\min}$  = jumlah batang (rods) minimum

$I_g$  = Arus gangguan ketanah (kA)



Gambar 2.1 Pentanahan sistem Grid-Rod

## 2.6 Elektroda Pentanahan

Elektroda pentanahan adalah penghantar yang ditanam langsung ke dalam tanah, berfungsi untuk mempertahankan tegangan tanah pada konduktor dan menyerap arus yang dihantarkan ke elektroda. Untuk mendapatkan peluasan arus terbaik apabila terjadi gangguan, kontak langsung tersebut di atas disalurkan ke tanah.

Pentanahan adalah sistem yang dapat mengalirkan arus gangguan ke dalam tanah melalui elektroda pbumian yang ditanam di tanah. Ini juga melindungi manusia dan peralatan dari gangguan. potensi bahaya listrik. Tegangan akan berbeda di antara elektroda pentanahan di permukaan tanah karena arus gangguan yang mengalir ke dalamnya. Jika perbedaan maksimum sepanjang permukaan tanah tetap besar, kondisi ini tidak menguntungkan karena akan membahayakan pekerja dan peralatan.

Untuk mendapatkan tahanan pentanahan yang kecil, diperlukan elektroda pentanahan yang tepat. Prinsip dasar untuk memperoleh tahanan pentanahan yang kecil adalah dengan membuat permukaan elektroda bersentuhan dengan tanah sebesar mungkin sesuai dengan rumus umum persamaan (2.5) [8]

$$R = \frac{\rho L}{A} \dots \dots \dots (2.4)$$

dimana :

R = tahanan pentanahan [ $\Omega$ ]

$\rho$  = tahanan jenis tanah [ $\Omega$  m]

$L$  = panjang lintasan arus pada tanah [m]

$A$  = luas penampang lintasan arus pada tanah [ $m^2$ ]

Adapun yang digunakan untuk pentanahan harus memenuhi beberapa persyaratan, adalah:

1. Memiliki daya hantar jenis yang cukup besar sehingga tidak akan memperbesar perbedaan potensial lokal yang berbahaya bagi peralatan dan keselamatan jiwa akibat pentanahan.
2. Memiliki kekuatan mekanis yang cukup tinggi.
3. Tahan terhadap korosi
4. Tahan terhadap peledakan dari keburukan sambungan listrik.

Karena sifat-sifatnya yang memenuhi kriteria di atas, tembaga biasanya digunakan sebagai konduktor pentanahan atau elektroda. Tahanan tanah di sekitar elektroda bergantung pada jenis tahanan tanah. Berbagai komponen sistem pentanahan memengaruhi tahanan

Selain luas permukaan elektroda pentanahan dan tahanan jenis tanah, jenis dan bentuk elektroda pentanahan juga memengaruhi tahanan pentanahan yang diperoleh. Beberapa bentuk elektroda pentanahan yang dipergunakan adalah elektroda batang, elektroda pita, dan elektroda plat.

### 2.6.1

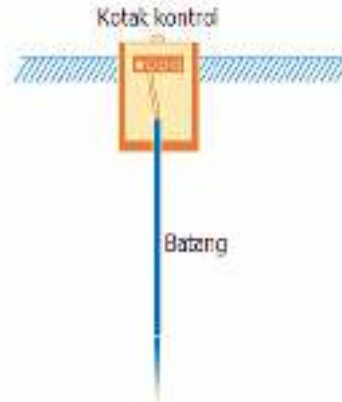
#### Elektroda

#### Batang

Elektroda batang adalah elektroda berbentuk pipa atau batang profil atau logam lain yang ditanamkan tegak lurus ke dalam tanah umumnya dengan kedalaman antara 1 sampai 10 meter (Gambar 2.2 ). Jenis pentanahan ini yang paling banyak digunakan, karena mempunyai banyak keuntungan apabila dibandingkan dengan menggunakan elektroda bentuk lain.

Adapun keuntungan dari elektroda ini adalah:

1. Harganya cukup murah dan juga mudah didapat (tersedia dengan banyak).
2. Pemasangannya mudah dan tidak memerlukan tempat yang luas.
3. Apabila ditanam, diusahakan sampai pada kedalaman air tanah dengan maksud supaya tahanan pentanahan menjadi rendah.
4. Apabila tahanan dari sebuah elektroda batang belum cukup rendah, di sekitar elektroda yang pertama dapat dipasang elektroda lain yang kemudian dihubungkan secara paralel untuk mendapatkan tahanan pentanahan yang lebih rendah.



Gambar 2.2. Elektroda Bentuk Batang

Makin panjang elektroda batang ditanam ke dalam tanah, maka tahanan kontakannya terhadap tanah akan semakin kecil karena menurunnya tahanan jenis tanah dan bertambahnya luas permukaan tanah yang terkena elektroda. Faktor paling dominan yang mempengaruhi tahanan sistem pentanahan adalah tahanan jenis tanah di mana elektroda pentanahan ditanam seperti pada persamaan (2.6)[10]

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

Dimana:

- R : Tahanan pentanahan elektroda batang [ $\Omega$ ]
- $\rho$  : Tahanan jenis tanah [ $\Omega.m$ ]
- L : Panjang batang yang tertanam [m]
- a : Jari-jari elektroda pentanahan [m]

### 2.6.2 Elektroda Plat

Elektroda plat, yang berupa lembaran logam datar, ditanam di dalam tanah dan terhubung ke sistem kelistrikan gardu induk untuk menyediakan jalur resistansi rendah bagi arus listrik menuju tanah. Fungsi elektroda ini adalah untuk memastikan bahwa arus gangguan yang disebabkan oleh petir, kegagalan peralatan, dan faktor lain dapat disebarkan secara efektif ke dalam tanah, sehingga melindungi peralatan dan personel dari potensi bahaya listrik.



Gambar 2.3.Elektroda Plat

Berikut Rumus untuk menemukan nilai tahanan pentanahan menggunakan elektroda plat :[10]

$$R = \frac{\rho}{\pi L} + \left[ \ln \left( \frac{8W}{0,5W+T} \right) - 1 \right] \dots\dots\dots (2.6)$$

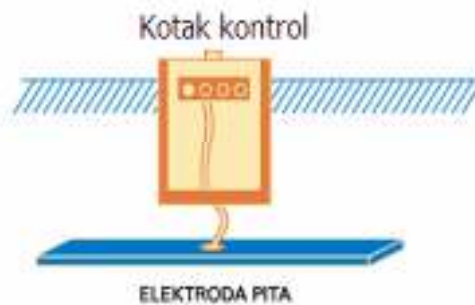
Keterangan :

- R = Tahanan Kawat (Ohm)
- $\rho$  = Tahanan Jenis Tanah (Ohm-meter)
- L = Panjang Plat (meter)
- W = Lebar Plat (Meter)
- T = Tebal Plat (meter )

### 2.6.3 Elektroda Pita

Elektroda pita adalah bagian penting dari sistem pentanahan gardu induk karena mereka mengalirkan arus listrik ke tanah dengan resistansi rendah melalui pita datar yang dibuat dari bahan konduktif seperti tembaga atau baja galvanis. Fungsi elektroda pita adalah untuk memastikan bahwa arus gangguan, seperti yang disebabkan oleh petir atau kegagalan peralatan, dapat disebarkan dengan efektif ke tanah, mengurangi kemungkinan kerusakan. Hal ini sesuai untuk wilayah pegunungan, di mana biaya tahanan tanah meningkat seiring kedalaman. Aditya (2017) Selain menantang pemasangannya, mencari nilai tahanan yang rendah juga akan sulit. Untuk menghindari hal ini, batang hantaran dapat ditanam secara mendatar (horizontal) dan dangkal untuk pemasangan vertikal ke dalam tanah.

Jenis elektroda pita yang ditunjukkan di bawah ini ditunjukkan pada Gambar 2.4 berikut.



Gambar 2.4 Elektroda Pita

Adapun Spesifikasi dan pemasangan elektroda pita adalah:[10]

$$R_G = R_W = \frac{\rho}{\pi L_W} + \left[ \ln \left( \frac{2W}{\sqrt{d_W Z_W}} \right) + \frac{1,4 L_W}{\sqrt{A_W}} - 5,6 \right] \dots\dots\dots (2.7)$$

Dimana :

- $R_W$  = Tahanan dengan kisi – kisi (grid) kawat (ohm)
- $\rho$  = Tahanan jenis tanah (Ohm-meter)
- $L_W$  = panjang total grid kawat (m)
- $d_W$  = Diameter kawat (m)
- $A_W$  = Luasan yang dicakup oleh grid (m<sup>2</sup>0)

$Z_w$  = kedalaman penanaman (m)

## 2.7 Karakteristik Tanah

Desain dan kinerja sistem pentanahan sangat dipengaruhi oleh sifat tanah di lokasi gardu induk. Tanah yang baik memungkinkan pelepasan arus gangguan dan mengurangi resistensi pentanahan. Adapun beberapa faktor yang mempengaruhi tahanan jenis tanah yaitu sebagai berikut.

1. Struktur geologi tanah termasuk jenis tanah liat, rawa, batu, berpasir, gembur, dan sebagainya.
2. Tanah mengandung bahan kimia seperti garam, logam, dan mineral lainnya.
3. Kelembapan tanah seperti basah dan kering.

Menurut Hutaeruk (1991) untuk mengetahui nilai-nilai tahanan jenis tanah yang akurat harus dilakukan pengukuran secara langsung pada lokasi yang digunakan untuk sistem pembumian karena struktur tanah yang sesungguhnya tidak sederhana yang diperkirakan, untuk setiap lokasi yang berbeda mempunyai tahanan jenis tanah yang tidak sama. Di bawah ini diberikan informasi yang menunjukkan nilai tahanan jenis tanah berdasarkan standar PUIL 2000 (Tabel 2.1).

| No. | Jenis Tanah              | Tahanan Jenis [Ohm] |
|-----|--------------------------|---------------------|
| 1.  | Tanah rawa               | 40                  |
| 2.  | Tanah liat dan ladang    | 100                 |
| 3.  | Pasir Basah              | 200                 |
| 4.  | Kerikil Basah            | 300                 |
| 5.  | Pasir dan kerikil kering | 1.000               |
| 6.  | Tanah berbatu            | 3.000               |
| 7.  | Air laut dan tawar       | 100                 |

Tabel 2.1 Tahanan Jenis Tanah Standar



Pengukuran tahanan jenis tanah pada lokasi gardu induk diambil pada beberapa titik lokasi. Tahanan jenis tanah dapat dihitung dengan menggunakan persamaan berikut:[4]

$$\rho = 2\pi\alpha R \dots\dots\dots (2.8)$$

Keterangan :

$\rho$  = tahanan jenis rata-rata tanah (Ohm-m)

$\alpha$  = jarak antara batang elektroda yang terdekat (m)

R = besar tahanan yang terukur (Ohm)

## 2.8 Pengaruh Besaran Listrik Terhadap Tubuh Manusia Tubuh manusia

Merupakan penghantar, maka berlakunya hukum ohm keterangan besarnya arus yang lewat dalam tubuh manusia tergantung dari besarnya tegangan sentuh dan impedansi tubuh atau dapat ditulis sebagai berikut : [9]

$$I = \frac{E}{Z} \text{ Ampere} \dots\dots\dots (2.9)$$

Keterangan :

I = Arus kejut (Amp)

E = Tegangan sentuh (Volt)

Z = Impedensi Total Tubuh (Ohm)

Menurut penelitian, karena tubuh manusia memiliki impedansi antara 500 dan 100.000 ohm, arus akan mengalir ke tubuh ketika salah satu bagian tubuh bersentuhan langsung dengan peralatan yang bertegangan karena kegagalan isolasi. Mengupayakan tahanan peralatan serendah mungkin adalah cara pengaman untuk menghindari bahaya akibat sentuhan.

## 2.9 Bahaya yang Timbul di Gardu Induk Akibat Gangguan Tanah

Arus gangguan tanah menyebabkan adanya beda tegangan beda tegangan di permukaan tanah. Hal ini sangat membahayakan manusia yang sedang berada disekitarnya. Arus gangguan dapat mengalir ke tubuh. Batas-batas arus tersebut di bagi menjadi :

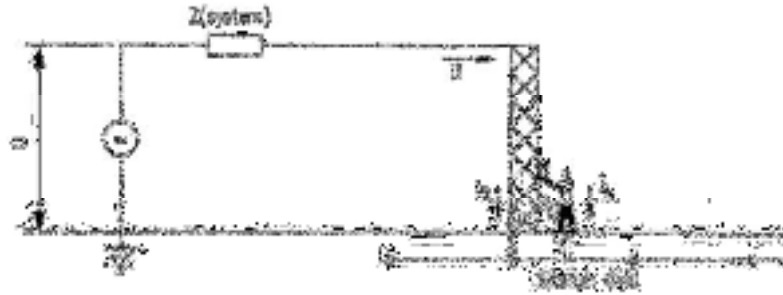
1. Arus mulai terasa atau persepsi (perception current)
2. Arus mempengaruhi otot (let-go current).
3. Arus mengakibatkan pingsan atau mati atau fibrilasi (fibrillating current)

Untuk menganalisa keadaan ini maka diambil beberapa pendekatan sesuai dengan kondisi orang yang sedang berada didalam atau sekitar gardu induk tersebut pada saat terjadi kesalahan ke tanah.

### 2.9.1 Tegangan sentuh

Tegangan sentuh (*touch voltage*) adalah tegangan yang terjadi antara dua permukaan konduksi, yang dapat dipicu oleh sentuhan manusia. Tegangan sentuh yang tinggi dapat disebabkan adanya kegagalan bagian peralatan.

. Besar arus gangguan dibatasi oleh tahanan orang dan tahanan kontak ke bumi dari kaki orang tersebut. Gambar 2.4 memperlihatkan tegangan sentuh dan rangkaian ekivalennya.



Gambar 2.5. Tegangan sentuh

Di bawah ini diberikan informasi yang menunjukkan Tabel 2.2 Nilai Tegangan Sentuh Yang Diizinkan dan Lama Gangguan Berdasarkan *IEEE Std 80 – 2013*.

| Lama Gangguan (t) (detik) | Tegangan Sentuh Yang Diizinkan (Volt) |
|---------------------------|---------------------------------------|
| 0,1                       | 1980                                  |
| 0,2                       | 1400                                  |
| 0,3                       | 1140                                  |
| 0,4                       | 990                                   |
| 0,5                       | 890                                   |
| 1                         | 626                                   |
| 2                         | 443                                   |

|   |     |
|---|-----|
| 3 | 362 |
|---|-----|

Tabel 2.2 Nilai Tegangan Sentuh Yang Diizinkan dan Lama Gangguan

Di dalam gardu induk, tahanan jenis tanah di sekitar permukaan diberi lapisan koral (batu kerikil) 10 cm dengan tujuan agar tanahnya stabil 3000 Ohm.

Manusia dengan berat badan 50 dan 70 Kg yang berada di antara satu objek dapat dihitung tegangan sentuh dinyatakan dengan:[10]

$$E_{\text{sentuh}50} = (1000 + 1,5 \rho_s C_s) \frac{0,116}{\sqrt{t}} \dots\dots\dots(2.10)$$

$$E_{\text{sentuh}70} = (1000 + 1,5 \rho_s C_s) \frac{0,157}{\sqrt{t}} \dots\dots\dots(2.11)$$

Keterangan :

Et50 = tegangan sentuh untuk berat badan manusia 50 kg

Et70 = tegangan sentuh untuk berat badan manusia 70 kg

Cs = faktor reduksi nilai tahanan permukaan tanah

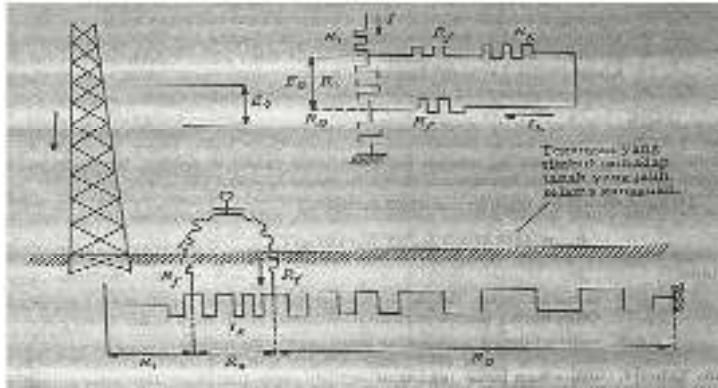
$\rho_s$  = tahanan jenis permukaan material/lapisan batu koral (Ohm-m)

t = waktu gangguan tanah/waktu kejut (detik)

Apabila tidak ada pengaman yang digunakan pada lapisan permukaan dimana Cs =1 dan  $\rho_s = \rho$ . Cs dapat dianggap sebagai faktor koreksi untuk menghitung efektif kaki perlawanan di hadapan dengan ketebalan hingga permukaan material.

### 2.9.2 Tegangan langkah

Tegangan langkah adalah tegangan antara dua kaki orang yang sedang berdiri di atas tanah yang sedang dialiri arus gangguan tanah. Besar tegangan langkah dapat dihitung Gambar dengan persamaan :



Gambar 2.6. Tegangan Langkah

$$E_s = ( R_k + R_f/2 ) \cdot I \dots\dots\dots (2.12)$$

Dengan :

$E_1$  = Tegangan langkah (volt)

$R_k$  = Tahanan badan manusia (100 ohm)

$I_k$  = Arus gangguan tanah (ampere)

$R_t$  = Tahanan kontak dari suatu kaki =  $3 \rho_s$  (ohm)

Dengan demikian besarnya tegangan langkah menjadi :

$$E_1 = I_k (R_k + 6 \rho_s) \dots\dots\dots (2.13)$$

Di bawah ini diberikan informasi yang menunjukkan (Tabel 2.3) nilai Tegangan Langkah yang diijinkan dan lama gangguan berdasarkan *IEEE Std 80 – 2000*.

| Lama Gangguan (t) (detik) | Tegangan Langkah yang Diijinkan (Volt) |
|---------------------------|--|
| 0,1                       | 7000                                   |
| 0,2                       | 4950                                   |
| 0,3                       | 4040                                   |
| 0,4                       | 3500                                   |
| 0,5                       | 3140                                   |
| 1                         | 2216                                   |
| 2                         | 1560                                   |

|   |      |
|---|------|
| 3 | 1280 |
|---|------|

Tabel 2.3 Nilai Tegangan Langkah yang diijinkan dan lama gangguan

### 2.9.3 Tegangan Mesh

Tegangan *mesh* atau tegangan sentuh maksimum sebenarnya didefinisikan sebagai tegangan peralatan yang dibumikan terhadap tengah daerah yang dibentuk oleh kisi kisi (*center of mesh*) selama gangguan tanah. Tegangan *mesh* ini merupakan tegangan tertinggi yang mungkin timbul sebagai tegangan sentuh dalam system pengamanan gardu induk yang dianggap aman. Nilai tegangan mesh tergantung pada faktor geometrik  $K_m$ , faktor koreksi  $K_i$ , Tahanan jenis tanah  $\rho$  dan rata arus per unit dengan panjang sistem pembumian penghantar.

Adapun persamaan untuk mencari nilai  $E_{mesh}$  yaitu sebagai berikut.[4]

$$E_{mesh} = k_m \cdot k_i \cdot \rho \cdot \frac{I_g}{L} \dots\dots\dots (2.14)$$

Keterangan :

$\rho$  = tahanan jenis tanah ( $\Omega$ )

$I_g$  = arus grid maksimum (A)

$L$  = panjang total konduktor (m)

$K_i$  = faktor koreksi tegangan *mesh* untuk nilai pertambahan arus pada grid, berdasarkan persamaan di bawah ini:  
 $= 0.65 + 0.72 \times n$

$K_m$  = faktor geometrik tegangan mesh

Faktor geometrik  $K_m$  dapat dituliskan pada persamaan di bawah ini :

$$K_M = \frac{1}{\pi} \left[ \ln \left( \frac{D^2}{1xhx d} + \frac{(D+2h)^2}{8xDx d} - \frac{h}{4x d} \right) + \frac{kii}{\sqrt{1+h}} \times \ln \left( \frac{8}{\pi(2xn-1)} \right) \right] \dots\dots\dots (2.15)$$

Keterangan :

$D$  = jarak antara konduktor paralel pada kisi-kisi/grid (m)

$d$  = diameter pembumian

$n$  = koefisien jumlah konduktor paralel dalam kisi-kisi utama

$h$  = kedalaman penanaman konduktor (m)

$K_{ii} = 1$  dengan pembumian rod = 1

#### 2.9.4 Faktor Reduksi

Permukaan tanah di area Gardu Induk terdiri dari batu pecah atau krikil. Lapisan ini meningkatkan resistansi kontak antara kaki manusia dengan permukaan tanah gardu induk, sehingga penahan kontak yang mengalir ke tubuh manusia dapat dikurangi di area ini. Lapisan ini membantu meningkatkan resistansi kontak yang mengalir ke tubuh manusia pada permukaan tanah gardu induk.

Penurunan ini dipengaruhi oleh nilai permukaan tanah, nilai tahanan material di atas permukaan tanah, dan ketebalan material dengan penahan tanah. Untuk mencari faktor penurunan dapat dicari menggunakan persamaan. [10]

$$C_s = 1 - \frac{0,09(1 - \frac{\rho}{\rho_s})}{2 \times h_s + 0,09} \dots\dots\dots (2.16)$$

Keterangan :

$C_s$  = Faktor Reduksi

$h_s$  = Faktor pembagi arus

$\rho$  = Tahanan jenis tanah

$\rho_s$  = Tahanan material permukaan tanah

#### 2.9.5. Arus Grid Simetris

$$I_g = S_f I_f \dots\dots\dots (2.17)$$

dan

$$S_f = I_g / 3I_o \dots\dots\dots (2.18)$$

Keterangan :

$I_g$  = arus grid simetris

$I_f$  = nilai rms arus gangguan tanah simetris

$I_o$  = arus gangguan urutan nol

$S_f$  = faktor pembagian arus yang menyatakan bagian dari arus gangguan yang mengalir

### 2.9.6. Arus Grid Maksimum

Nilai arus grid maksimum didefinisikan dengan persamaan :

$$IG = Cp \cdot Df \cdot Ig \dots\dots\dots(2.19)$$

Keterangan :

$Ig$  = arus grid maksimum (A)

$Cp$  = corrective projektion factor, dimana diperhitungkannya terhadap kenaikan relatef dari yang ada pada gardu induk dikemudian hari, jika hari itu tidak diperhitungkan maka diambil nilai  $Cp = 1$

$Df$  = faktor penurunan untuk seluruh durasi gangguan t (s)

$Sf$  = faktor pembagi arus

$GPR = Ig \cdot Rg$

### 2.9.7. Ground Potensial Rise (GPR)

Jumlah arus maksimum yang mengalir melalui pembumian dapat dikalikan dengan kenaikan tegangan tanah, yang merupakan tegangan maksimum dari tegangan listrik pada pembumian di gardu induk grid. (IEEE,80-2013) [10]

$$GPR = IG \times Rg \dots\dots\dots(2.20)$$

Keterangan :

$IG$  = arus grid maksimum

$Rg$  = tahanan pembumian grid

### 2.9.8. Nilai Resistansi Pentanahan

Untuk mencari nilai resistansi pentanahan digunakan rumus dibawah : [9]

$$R_g = \rho \left[ \frac{1}{L_T} + \frac{1}{\sqrt{20A}} \left( 1 + \frac{1}{1+h\sqrt{\frac{20}{A}}} \right) \right] \dots\dots\dots (2.21)$$

Keterangan:

$R_g$  = Tahanan grid-rod ( $\Omega$ )

$\rho$  = Tahanan jenis tanah ( $\Omega$ -m)

$L_T$  = Panjang total konduktor mesh (m)

$h$  = Kedalaman penanaman konduktor (m)

$A$  = Luas area sistem pembumian ( $m^2$ )

### **BAB III**

#### **METODOLOGI PENELITIAN**

##### **3.1 Tempat dan Waktu**

Kegiatan penelitian ini dilaksanakan di GIS Mabar PT PLN (Persero) UIP3B Sumatera Unit Pelaksana Transmisi, Gardu Induk 150 KV Mabar, Sumatera Utara. Adapun metode penelitian yang digunakan adalah dengan melakukan pengambilan data secara langsung (eksperimen), melakukan analisis hasil nilai pentanahan dan kemudian



membandingkan hasil nilai pentanahan tersebut dengan standar PUIL . Pengambilan data pengukuran ini dilakukan dilaksanakan selama 2 minggu .

### **3.2 Alat-alat (Instrumen) Penelitian**

Dalam penelitian ini, ada beberapa alat (instrumen) yang digunakan dalam pengukuran (pengambilan data):

#### **3.2.1 Alat Ukur Pentanahan:**

1. Earth Tester (Megger) : Alat utama untuk mengukur tahanan pentanahan secara langsung.
2. Clamp Meter : Mengukur arus gangguan tanah.

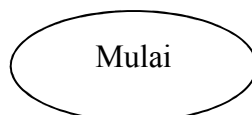
#### **3.2.2 Alat Bantu**

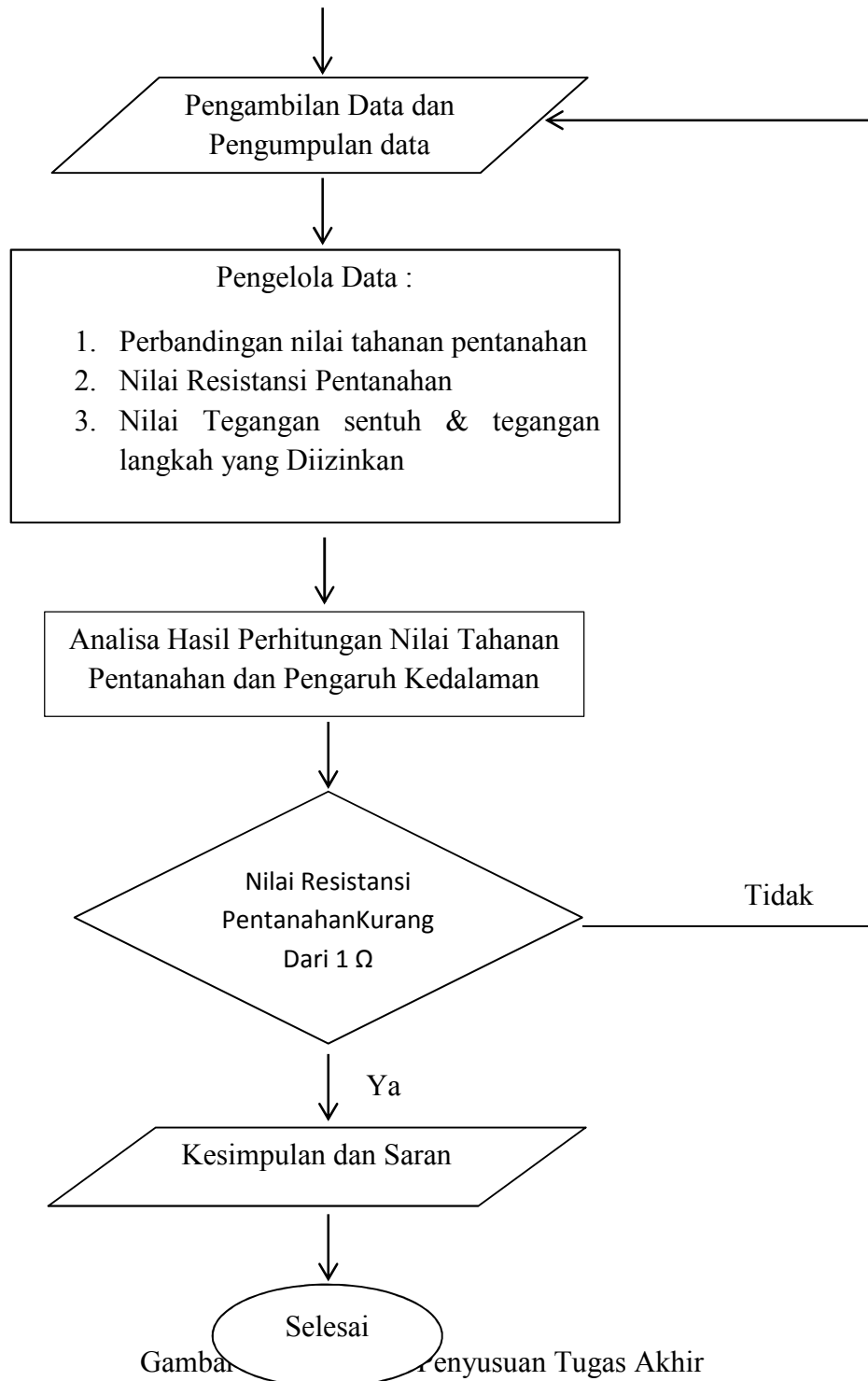
1. Elektroda Pentanahan : Elektroda batang, pipa, atau pelat yang ditanam kedalam tanah.
2. Kabel : Menghubungkan alat ukur dengan elektroda.
3. Palang Pentanahan : Menghubungkan kabel dengan elektroda.
4. Alat Bantu Lainnya : Tang, obeng, meteran, dan alat tulis.

### **3.3**

### **Flowchat**

Diagram alir langkah-langkah untuk pengukuran dan pengambilan data penelitian ditunjukkan oleh Gambar 3.1 di bawah ini.





Gambar 1. Penyusunan Tugas Akhir

Teknik pengumpulan data merupakan cara yang digunakan penulis untuk mendapatkan data dalam suatu penulisan. Adapun teknik pengumpulan data yang digunakan pada penulisan tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Observasi

Pada proses melakukan observasi, penulis melakukan peninjauan langsung ke tempat yang dijadikan objek penulisan yakni pada Gardu Induk Tallo Lama.

## 2. Studi literatur

Pada studi literatur, penulis mendapatkan informasi dari berbagai sumber, baik itu dari jurnal-jurnal maupun dari buku-buku yang pembahasannya sesuai dengan judul maupun tujuan dari tugas akhir ini.

## 3. Wawancara

Wawancara dilakukan dengan cara melakukan tanya jawab dengan narasumber untuk memperoleh informasi yang berkaitan dengan objek yang diteliti. Narasumber harus orang yang benar-benar memahami objek yang dijadikan sebagai topik dari kegiatan wawancara tersebut.

### **3.4 Metode Analisis Data**

Pada metode analisis data, penulis akan melakukan perhitungan secara manual untuk mencari nilai resistansi pentanahan secara manual untuk menentukan nilai *ground potential rise (GPR)*, nilai tegangan sentuh dan tegangan langkah yang diizinkan dan untuk mencari nilai arus grid maksimum dan nilai *ground potential rise (GPR)*