

PENGESAHAN

**ANALISIS PENGUKURAN TAHANAN PENTANAHAN
PADA KAKI TOWER SUTT 150 KV PENGHANTAR
GARDU INDUK NAMORAMBE – SELAYANG**

TUGAS AKHIR

Oleh :

KRISTOPER LUMBAN BATU
NPM : 20330025

Lulus Sidang Tugas Akhir tanggal : 27 Agustus 2024
Periode Semester GHNAP T.A. 2023/2024

Disahkan dan disetujui oleh :

Pembimbing I,



Ir. Joncer Maniburuk, S.T., M.T.
IPM, ASEAN Eng
NIDN : 0122047302

Pembimbing II,



Ir. Lestina Siagian, M.Si
NIDN : 0120125901

Diketahui oleh :

Ketua Program Studi Teknik Elektro



Ir. Lestina Siagian, M.Si
NIDN : 0120125901

Dekan Fakultas Teknik



Dr. Ir. Himpun Panguribuan, M.T.
NIDN : 0121026402

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Saluran Tegangan Tinggi (SUTT) 150 KV merupakan salah satu dari sekian banyak komponen sistem transmisi terestrial. Bila terdapat petir sambaran, petir sambaran dapat digunakan untuk meningkatkan tegangan yang dapat digunakan untuk meningkatkan proses produksi yang dijelaskan sebagai kategori tersendiri.

Deli Serdang, juga dikenal sebagai Namorambe, dikategorikan sebagai daerah karena intensitas petirnya yang rendah. Dengan bantuan kawat tanah berperingkat SUTT 150 KV dan material yang telah dibangun dapat digunakan untuk menjamin kelembaban petir. Pemasangan menara SUTT 150 KV adalah salah satu opsi yang lebih mahal. Nilai ketahanan pembumian harus dilakukan sesuai dengan standar yang telah dikembangkan dengan tujuan untuk meningkatkan izin sistem pada suhu yang lebih rendah. Dalam pemasangan pembumian pada tower SUTT 150 KV, harus mengikuti standar yang ditetapkan, baik dari segi kedalaman maupun jarak antar elektroda yang digunakan. Karena pembumian ditanam di dalam tanah, kemungkinan besar nilai penahanannya berubah seiring berjalannya waktu.

Dengan demikian, kemampuan meningkatkan potensi risiko harus dicapai melalui penggunaan metode ini. Pengukuran keakuratan pembumian diperlukan untuk mengukur kemajuan terhadap standar. Dalam tugas akhir ini, pengukuran akan dilakukan dengan menggunakan elektroda untuk mendapatkan nilai resistansi yang rendah, serta mengatur panjang, jarak, dan jumlah batang elektroda agar sesuai dengan standar yang ditetapkan, yaitu direkomendasikan 5 ohm dan maksimal 10 ohm. Latar belakang ini mendorong penulis untuk melakukan penelitian dengan judul "Analisis Pengukuran Tahanan Pentanahan SUTT 150 KV Gardu Induk Penghantar Namorambe - Selayang.

1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Mengetahui kondisi tahanan pentanahan pada kaki menara SUTT di gardu induk 150 kv Namorambe - Selayang;
2. Menentukan nilai resistansi yang baik untuk pentanahan menara transmisi SUTT di gardu induk 150 kv Namorambe - Selayang; dan
3. Mengevaluasi secara teoritis tahanan elektroda ke tanah dan jenis tahanan tanah.

1.3 Tujuan Penulisan

Setelah pengujian dan pengukuran selesai, tujuan penelitian ini adalah untuk memberikan saran untuk meningkatkan nilai pembumian yang tidak lagi sesuai dengan standar pembumian saluran transmisi udara 150 kV. Selain itu, penelitian ini juga bertujuan untuk mengumpulkan perbandingan perubahan nilai pembumian pada saluran udara 150 kV di Gardu Induk Namorambe – Selayang.

1.4 Manfaat Penelitian

Dengan mempertimbangkan pada tujuan penelitian ini, manfaat penelitian ini sebagai berikut:

1. Meningkatkan keselamatan dan keandalan sistem tenaga listrik.
2. Membantu perusahaan listrik dalam mempertahankan kualitas layanannya.
3. Memberikan wawasan dan pengetahuan bagi peneliti serta masyarakat mengenai pentingnya tahanan pentanahan.
4. Merumuskan rekomendasi perbaikan tahanan pentanahan yang sesuai dengan kondisi di lapangan.

1.5 Batasan Masalah

Berikut merupakan topik lengkap dan panjang yang dapat digunakan:

1. Pada sistem saat ini, digunakan batang ground (elektroda) selain batang listrik biasa yang dapat ditemukan dalam warna krem atau warna lain.

2. Semua skema pengukuran yang dibuat menyerupai skema yang biasa digunakan oleh petugas PLN dalam mengukur nilai tahanan pembumian pada menara 150 kV.
3. Pertumbuhan pembumian terjadi beriringan dengan tanah.

1.6 Metodologi Penulisan

1. Studi Literatur: Membaca dan mempelajari referensi dari buku-buku dan sumber lainnya yang tersedia melalui internet dan media cetak.
2. Pengumpulan Data: Ini dilakukan dengan melakukan pengukuran langsung di lapangan dan mengumpulkan data dari SUTT 150 kV di GI Namorambe – Selayang.
3. Diskusi Interaktif: Melakukan tanya jawab dengan staf PLN di Gardu Induk Namorambe dan melakukan pengamatan langsung pada kaki tower SUTT 150 kV.

1.7 Sistematika Penulisan

Penulisan skripsi ini terdiri dari 5 Bab di antaranya :

1.7.1 BAB I PENDAHULUAN

Bab ini membahas tentang latar belakang dari penelitian, rumusan masalah, batasan masalah, tujuan penelitian, dan sistematika penulisan.

1.7.2 BAB II TINJAUAN PUSTAKA

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

1.7.3 BAB III METODE PENELITIAN

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

1.7.4 BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

Bab ini membahas penjelasan mengenai data dari hasil penelitian dan

analisa terhadap seluruh proses yang berlangsung selama penelitian.

1.7.4 BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

Bab ini berisi kesimpulan terhadap proses yang berlangsung selama penelitian dan saran yang mendukung penelitian selanjutnya agar dapat memberikan hasil yang lebih baik lagi.

BAB II

TINJAUN PUSTAKA

2.1 Tinjaun Pustaka Relevan

Studi sebelumnya oleh beberapa peneliti di bidang teknik elektro adalah pengembangan dari penelitian ini. Salah satu cara untuk melindungi listrik adalah penataan. Ini digunakan untuk melindungi dari gangguan internal dan eksternal. Salah satu jenis gangguan adalah petir, di mana tahanan pentanahan yang tinggi pada kaki menara dapat menyebabkan tegangan yang lebih tinggi pada isolator, yang dapat menyebabkan kerusakan pada peralatan dan lainnya. Akibatnya, salah satu tindakan yang diambil adalah membuat sistem pentanahan pada kaki tower transmisi yang memiliki nilai tahanan yang sekecil mungkin. Untuk analisis lebih lanjut, hasil perhitungan dapat dibandingkan dengan nilai pengukuran dengan menghitung tahanan pentanahan pada kaki menara.

Saat terjadi gangguan di gardu induk, arus listrik dapat mengalir melalui tubuh seseorang. Arus yang mengalir melalui gardu yang mengalami gangguan ke tanah akan menimbulkan tegangan di permukaan tanah di area pentanahan gardu, yang dapat menyebabkan luka atau bahkan kematian jika arus ini melebihi batas tertentu. Sistem pentanahan yang baik sangat penting untuk mengurangi risiko keselamatan dan mencegah kerusakan pada peralatan di gardu induk karena perbedaan tegangan di tanah. Untuk mencegah kecelakaan bagi orang di dalam gardu induk, perencanaan dan perhitungan yang cermat juga diperlukan.

Sistem pentanahan merupakan salah satu dari sekian banyak aspek untuk pengembangan dan implementasi sistem tenaga listrik yang dicirikan oleh gangguan yang berasal dari arus kurang dari dan tegangan kurang dari. Jika terdapat gangguan pada sistem berbasis daftar, sistem pentanahan akan memastikan bahwa arus untuk gangguan tersebut tersambung pada tanah dan terlihat di area lainnya. Arus gangguan ini menunjukkan gradien tegangan antara peralatan dan tanah asli, peralatan dan tanah, dan antara peralatan dan tanah asli. Terdapat gradien yang signifikan dalam degradasi tanah berdasarkan resistansinya terhadap tanah. Salah satu cara untuk meningkatkan gradien tegangan permukaan tanah adalah dengan menggunakan pembumian listrik yang terdapat di tanah.

Teknologi ini diterapkan pada jaringan transmisi dalam penelitian "Research on Reducing Grounding Resistance of Transmission Line Tower Grounding Grid." Hasil tes menunjukkan bahwa metode pentanahan yang kompleks dan kombinasi dapat mengurangi dampak sambaran petir. Nilai pentanahan di daerah yang memiliki tanah keras, berbatu, atau resistansi jenis tanah tinggi sangat dipengaruhi oleh komposisi jenis tanah di sekitar menara dan elektroda penghantar yang terhubung ke saluran udara tegangan tinggi (SUTT). Jenis tanah ini sangat beragam; beberapa memiliki kadar air tinggi, tingkat kelembaban yang berbeda, dan berbagai karakteristik tanah lainnya.

Beberapa hal yang perlu dipertimbangkan saat merencanakan sistem pentanahan adalah resistansi jenis tanah, struktur tanah, kondisi lingkungan, biaya, dan ukuran dan bentuk sistem. Tanah yang memiliki resistansi yang lebih rendah biasanya dianggap lebih baik. Menurut karakteristik geologinya, struktur tanah di setiap wilayah berbeda. Untuk beberapa alasan, sistem pentanahan di kaki menara harus ditingkatkan. Ini termasuk gangguan yang disebabkan oleh sambaran petir, perubahan kondisi tanah di sekitar kaki menara saluran transmisi, dan perubahan iklim yang terjadi setiap tahun yang berdampak pada resistansi tanah.

Dengan arus yang sangat besar dan waktu yang sangat singkat, petir dapat menyebabkan kerusakan besar terutama pada peralatan listrik di luar ruangan. Spektrum frekuensi yang sangat luas akan dihasilkan oleh pelepasan petir, baik di dalam awan, antar awan, maupun dari awan ke tanah. Akibatnya, petir sering mengganggu saluran transmisi. Ketika sambaran langsung (direct stroke) terjadi pada kawat tanah SUTT, fenomena back-flashover terjadi. Fenomena ini terjadi ketika tegangan pada isolator saluran mencapai atau melebihi tegangan lompatan api kritis (critical flashover), yang menyebabkan lompatan api pada isolator.

Untuk mengatasi gangguan, diperlukan sistem pentanahan pada kaki menara transmisi dengan melindungi kawat fase dari sambaran langsung petir menggunakan kawat tanah yang diletakkan di atas kawat fase. Oleh karena itu, sambaran hewan peliharaan yang berbahan dasar kawat tanah akan terhambat oleh tanah tersebut. Hambatan tanah yang kuat dapat menyebabkan kepala arus pantul bergesekan dengan menara. Apabila arus pantul yang dimaksud menyebabkan tembus isolator rusak pada saat transmisi, maka arus petir akan terus bergerak

searah dan terus menimbulkan kebisingan. Oleh karena itu, sistem pentanahan yang baik dengan resistansi kurang dari 5 ohm tetap efektif.

Transmisi menggunakan metode berbeda, seperti transmisi counterpoise dan tancap listrik (Driven Ground), digunakan untuk transmisi. Pembumian dengan tancap elektroda dilakukan dengan menancapkan batang elektroda ke dalam tanah, metode ini cocok untuk tanah liat. Apabila menggunakan counterpoise, pengerjaannya dilakukan dengan memasukkan batang listrik yang berbentuk radial atau sejajar ke dalam tanah, dan biasanya dilakukan dengan keras atau dengan cara yang sesuai dengan penahan tanah. Tahanan pembumian menara transmisi harus tetap dalam batas yang. Namun, penahan tanah pada menara berikutnya mungkin bertanggung jawab menyebabkan seiringnya musim dan kondisi antara elektroda dan tanah. Oleh karena itu, pengukuran pemeliharaan pembumian harus dilakukan secara berkala. Jika terjadi peningkatan nilai tahanan pembumian, perlu dilakukan penambahan elektroda pembumian.

2.2. Landasan Teori

2.2.1. SUTT (Saluran Udara Tegangan Tinggi)

Struktur yang disebut Saluran Udara Tegangan Tinggi (SUTT) digunakan untuk menghubungkan Daftar Tenaga dari Pusat Pembangkit ke Gardu Induk (GI) atau ke GI. Caranya dengan menyambungkan kawat atau kondensor ke isolator isolator pada sistem tinggi (30 kV, 70 kV, dan 150 kV). Selain itu, Saluran Udara Tegangan Tinggi (SUTT) dan Saluran Udara Tegangan Ekstra Tinggi (SUTET) juga berfungsi sebagai sarana untuk mentransmisikan energi listrik dari Pusat Pembangkit ke Gardu Induk (GI) atau Gardu Induk Tegangan Ekstra Tinggi (GITET), atau antar GI/ GITET, melalui konduktor yang direntangkan antara tiang (tower) dengan isolator pada sistem tegangan tinggi (30 kV, 70 kV, 150 kV) atau tegangan ekstra tinggi (275 kV, 500 kV).

2.2.2. Komponen dan Pondasi Saluran Udara Tegangan Tinggi

Komponen utama dalam konstruksi dan pondasi sistem transmisi SUTT dan SUTET adalah tiang. Selain berfungsi sebagai isolator, struktur ini juga dapat digunakan untuk menghubungkan kondensor dengan ketinggian dan jarak yang

diperlukan baik bagi manusia maupun mesin.

Berikut contoh SUTT:

1. Tower atau transmisi
2. Isolator
3. Penghantar kuat
4. Tanah kawat

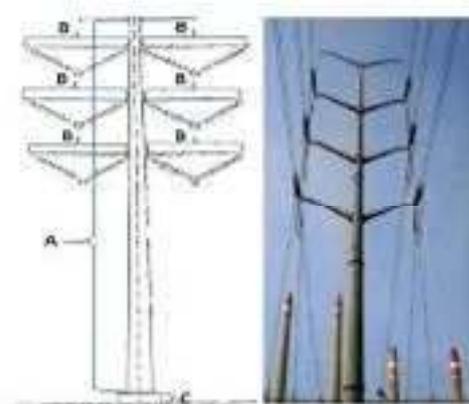
2.2.3. Tower atau Tiang Transmisi

Tiang transmisi, juga dikenal sebagai menara transmisi, adalah komponen penting yang menopang saluran transmisi. Empat jenis tiang berbeda berdasarkan bentuk atau konstruksinya.

1. Tiang konstruksi baja, yang dibuat dari baja profil yang disusun sedemikian rupa sehingga membentuk menara dengan kekuatan yang diperhitungkan sesuai kebutuhan.
2. Tiang manesman, yang dibuat dari pipa baja dengan panjang, diameter, dan ketebalan yang disesuaikan dengan kebutuhan.
3. Tiang beton bertulang, yang dibuat dari beton bertulang dan dibuat sesuai dengan kebutuhan.
4. Tiang kayu, yang kurang tahan lama seperti damar laut, rasamala, dan kruing harus melalui proses pengawetan terlebih dahulu agar dapat bertahan lebih lama pada suhu 40 mini.

B. Tiang Menurut Bentuk

1. Tiang Pole: Tiang beton atau baja dapat digunakan untuk membuat SUTT yang dibangun di daerah perkotaan yang padat penduduk dan memerlukan luas lahan yang relatif kecil. Tiang pole terbagi menjadi dua jenis: Tiang pole baja dan tiang pole beton.

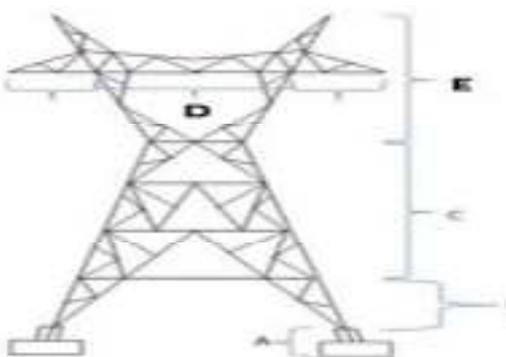


Gambar 2.1 konstruksi tiang pole

2. Tiang Kisi Kisi (*lattice tower*)

Terbuat dari baja profil yang disusun dengan cara yang diperhitungkan untuk membentuk menara dengan kekuatan yang diperlukan. Tiang ini dibedakan menjadi tiga kelompok besar berdasarkan susunan atau konfigurasi penghantarnya, yaitu:

a. Tiang Delta (*Delta tower*)



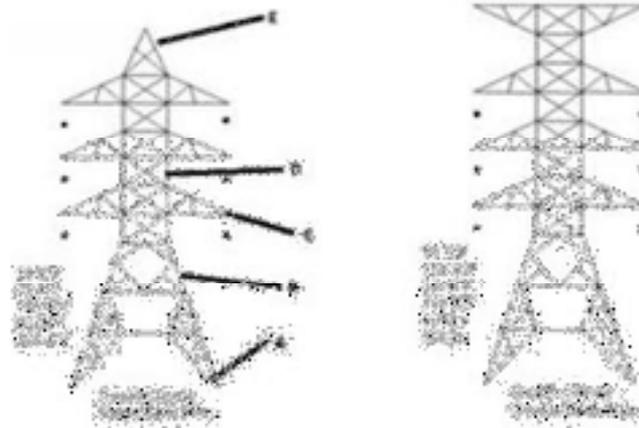
Gambar 2.2 a. Konstruksi tiang Delta

b. Tiang Zig-Zag (*zig-zag tower*)



Gambar 2.2 konstruksi tiang zig zag

c. Tiang piramida (*pyramid tower*)



Gambar 2.2 c. Kontruksi Tiang Piramida

Pilihan jenis tower atau tiang yang akan digunakan bergantung pada beberapa hal, seperti: lokasi atau kondisi medan yang akan dilalui saluran; biaya pembangunan dan perawatan; ketersediaan bahan untuk tower atau tiang; dan perkiraan masa pakai saluran.

Menara baja, yang biasanya disebut sebagai menara SUTT 150 kV, adalah jenis menara atau tiang yang paling sering digunakan dalam transmisi 150 kV karena mereka tidak memerlukan banyak pengawasan, tidak memerlukan banyak perawatan, dan tetap bertahan lama.

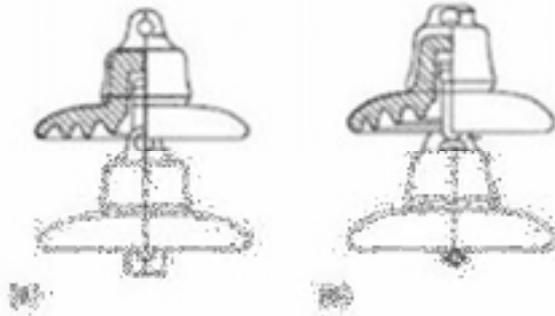
2.2.4. Insulation (Isolasi)

Baik dalam kondisi operasi normal maupun saat terjadi surya (termasuk petir) pada saluran transmisi, isolasi memisahkan bagian yang bertegangan dari bagian yang tidak bertegangan atau ground. Beberapa kriteria harus dipenuhi untuk berfungsi sebagai insulator yang baik:

1. Karakteristik Elektrik: Insulator harus memiliki ketahanan terhadap tegangan kerja dan impuls petir, serta tegangan tembus minimum yang sesuai dengan tegangan kerja. Kapasitor terbuat dari bahan isolasi yang dikelilingi oleh logam. Kapasitas permukaannya dapat meningkat sebagai akibat dari polutan atau kelembaban udara di permukaan. Namun, kerusakan pada insulator atau polutan dapat menyebabkan kegagalan isolasi, yang dapat menyebabkan gangguan.

2. Karakteristik Mekanik: Kekuatan mekanik insulator harus cukup untuk menahan beban berat konduktor penghantar dan beban tarik konduktor penghantar.

Insulator dibagi berdasarkan bentuknya. Insulator piring: digunakan sebagai insulator penegang; insulator gantung: jumlah piringan insulator disesuaikan dengan tegangan sistem.



Gambar 2.3 Insulator piring (a) tipe clevis (b) tipe ball-socket

Pada SUTT, isolator biasanya terbuat dari porselen atau kaca dan berfungsi untuk mengisolasi tegangan listrik antara kawat penghantar dan tiang. Jenis isolator yang digunakan adalah isolator piring, yang dapat berfungsi sebagai isolator penegang atau gantung, dan jumlah piringan yang diperlukan untuk sistem SUTT dengan tegangan 150 kV.



Gambar 2.4 insulator ceramic dan insulator kaca

2.2.5. Konduktor

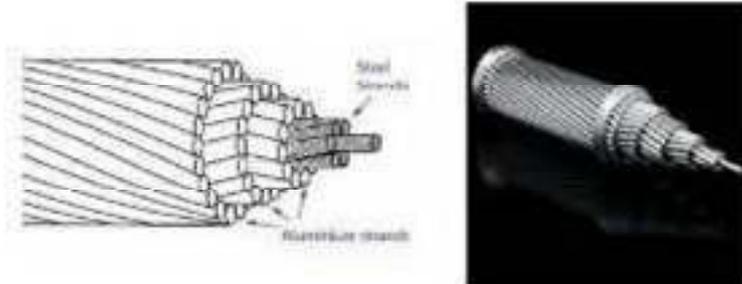
Bare Conductor OHL (termasuk ACSR, TACSR, dan ACCC) berfungsi sebagai media penghantar arus pada SUTT/SUTET dengan kapasitas arus yang sesuai dengan spesifikasinya. Konverter ini dihubungkan melalui SUTT/SUTET dan diisolasi dari isolator. Pada tiang bertekanan, konduktor dipegang menggunakan

strain clap atau pressure impasse brace, sedangkan pada tiang suspensi, konduktor dipegang menggunakan klip suspensi. Berikut adalah beberapa fitur konverter yang dapat digunakan untuk mengurangi konsumsi energi pada daftar:

1. Konduktivitas tinggi
2. Tarikan mekanik yang tinggi
3. Berat jenis rendah
4. Ekonomis
5. Lentur dan tidak mudah patah

Sebagai contoh, pada SUTT/SUTET, operatornya terdampar (stranded) atau terdampar (stranded). Hal ini disebabkan karena kapasitas operator lebih tinggi daripada kapasitas operator pejal dan lebih tinggi daripada kapasitas operator penangan. Berikut ini adalah daftar berbagai komponen pengendali:

1. Konduktor Tembaga (BC: Bare Copper): Karena konduktivitasnya yang tinggi dan kekuatan mekaniknya yang cukup, konduktor ini adalah penghantar yang sangat baik.
2. Konduktor Aluminium: Meskipun lebih ringan daripada konduktor tembaga, konduktor aluminium memiliki konduktivitas dan kekuatan mekanik yang lebih rendah. Beberapa jenis konduktor aluminium adalah:
 - a. Konduktor ACSR (Aluminium Conductor Steel Reinforced): Jenis konduktor ACSR/AS banyak digunakan pada SUTT dan SUTET karena bagian luarnya terbuat dari aluminium yang memiliki konduktivitas tinggi, karena sifat elektron lebih suka berada di bagian luar konduktor.



Gambar 2.5 Konduktor Jenis ACSR

- b. Konduktor TACSR (Thermal Aluminium Conductor Steel Reinforced) digunakan dalam transmisi data yang bermanfaat ke kapasitas atau sistem tertentu. Jenis konduktor ini memiliki kapasitas yang lebih besar tanpa

mengalami perubahan berat yang signifikan, meskipun hal ini mempengaruhi tingkat penggantungan (penurunan) konduktor.



Gambar 2.6 Konduktor Jenis TACSR

c. Konduktor ACCC (Aluminium Conductor Composite Core) memiliki inti yang terbuat dari bahan komposit dengan kekuatan mekanik tinggi. Karena inti komposit ini tidak bersifat konduktif, konduktor ini tidak mengalami pemuaian saat terkena arus atau tegangan. Konduktor ACCC tidak memiliki korosi, sehingga hanya dapat digunakan oleh umum. Yang kedua terbuat dari aluminium, yang memiliki koefisien gesek rendah. Jenis konduktor ini bekerja karena memiliki karakter yang lamban dan tidak konsisten dalam kinerjanya.



Gambar 2.7 Konduktor Jenis ACCC

2.2.6. Pengertian Pentanahan

Pada saat proses instalasi, pentanahan merupakan faktor kunci. Untuk memastikan bahwa sistem pentanahan berfungsi secara efektif, beberapa faktor harus diperhatikan, antara lain:

1. Menyediakan jalur impedansi rendah ke tanah untuk melindungi personel dan peralatan, menggunakan rangkaian yang efisien.
2. Mampu menangani dan membentuk arus yang berulang dan lonjakan (surge)

current).

3. Dengan menggunakan korosi dan kondisi kimiawi tanah sebagai panduan, pilih bahan untuk memaksimalkan kinerja dalam menghadapi bahaya.
4. Memiliki sistem mekanisasi yang mapan namun tidak berubah. Sistem pentanahan yang baik akan mempertimbangkan kehebatan sistem ketenagalistrikan serta sistem dan peralatan yang digunakan.

2.2.7. Tujuan Pentanahan

Tujuan akhir dari sistem pentanahan adalah menggunakan resistensi dalam proses bisnis sebagai sarana untuk mengatasi hambatan antara daftar dan transaksi. Penyebab umum dari sentakan listrik atau tegangan transien meliputi penerangan, arus listrik, pertukaran sirkuit, dan pelepasan elektrostatis. Sistem pentanahan yang efektif dapat mengurangi dampak dari fenomena ini. Secara umum, tujuan sistem pentanahan meliputi:

1. Menjamin keselamatan individu dari sengatan listrik baik dalam kondisi tipikal maupun saat terjadi tegangan sentuh dan langkah tegangan.
2. Manajemen operasional yang berbeda dengan pencatatan elektronik atau cetak.
3. Kemungkinan kerusakan pada peralatan elektronik atau daftar.
4. Meningkatkan energi hewan peliharaan di dalam tanah.
5. Stabilkan aliran dan pastikan terjadi flashover saat aliran transien terjadi.
6. Sebutkan tegangan umpan balik yang tidak terdapat pada peralatan seperti audio, kontrol, dan komputer.

Berikut contoh sistem pentanahan yang sesuai dengan IEEE Standard 142 TM-2007:

1. Menjaga tegangan dari badan agar dapat digunakan pada bus yang sedang digunakan.
2. Menyediakan jalur arus untuk mendeteksi hubungan yang tidak ada pada sistem konverter yang ada. Deteksi ini akan memicu peralatan otomatis untuk memutus suplai tegangan dari konduktor tersebut.
3. Mengatur tegangan terhadap bumi agar tetap dalam batas aman yang telah ditentukan.
4. Aliran arus digunakan untuk menentukan bahwa hubungan tersebut tidak ada

dalam sistem kompresor yang ada; akibatnya, digunakan untuk mengubah tegangan.

2.2.8. Jenis – Jenis Pentanahan

Jenis-jenis pentanahan yang digunakan pada analisis tahanan pentanahan pada kaki tower SUTT di gardu induk 150 Kv adalah sebagai berikut:

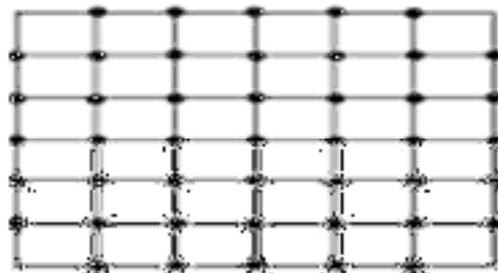
A. Pentanahan batang (rod grounding)



Gambar 2.8 Pentanahan batang (rod grounding) (a)

Pentanahan batang merupakan metode yang dapat digunakan dalam sistem transmisi listrik. Metode ini mengatur pasokan daya elektronik untuk tongkat yang ditempatkan di tanah dengan cara yang agak tegak lurus. Biasanya, panjang batang yang digunakan berkisar antara 1 hingga 10 meter.

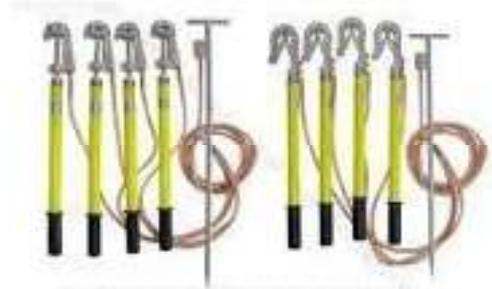
B. Pentanahan mesh (mesh grounding)



Gambar 2.8 Pentanahan mesh (mesh grounding) (b)

Pentanahan mesh adalah metode yang menggunakan kawat atau batang logam yang dibentangkan dalam pola jaring di bawah permukaan tanah. Dengan luas permukaan yang lebih besar dibandingkan metode pentanahan batang, sistem ini dapat mencapai tahanan pentanahan yang lebih rendah.

C. Pentanahan kabel (cable grounding)



Gambar 2.8 Pentanahan Kabel (cable grounding) (c)

Pentanahan kabel adalah metode yang menggunakan kabel logam yang ditanam di dalam tanah. Keunggulan dari metode ini adalah fleksibilitasnya, sehingga dapat diterapkan pada kondisi tanah yang sulit. Dalam analisis tahanan pentanahan pada kaki tower SUTT di gardu induk 150 kV, pemilihan jenis pentanahan harus disesuaikan dengan kondisi tanah setempat. Jika tanah memiliki tahanan jenis rendah, pentanahan batang atau mesh bisa menjadi pilihan yang efektif. Namun, jika tanah memiliki tahanan jenis tinggi, pentanahan kabel mungkin lebih sesuai. Selain jenis pentanahan, faktor-faktor lain yang perlu dipertimbangkan dalam analisis tahanan pentanahan meliputi:

- Jumlah elektroda
- Diameter elektroda
- Kedalaman penanaman elektroda
- Ukuran dan jarak antar elektroda

Menambah jumlah, diameter, dan kedalaman penanaman elektroda akan mengurangi tahanan pentanahan, sementara meningkatkan ukuran dan jarak antar elektroda akan meningkatkan tahanan pentanahan.

2.2.9. Standart dan Regulasi Puil 2000

Berikut beberapa contoh tahanan pentanahan yang digunakan untuk menyalurkan tenaga listrik di Indonesia: SUTT 20 kV dan 150 kV memerlukan tahanan pentanahan minimal 10 ohm. Untuk SUTT 275 kV sampai 500 kV, tahanan penahan tidak boleh lebih dari 5 ohm.

Berikut daftar standar SUTT 150 kV yang disampaikan pada konferensi PUIL 2018:

1. Standar Sistem Pentanahan Kaki Menara

A. Tahanan pentanahan kaki menara:

Maksimum: 10 Ohm

Direkomendasikan: < 5 Ohm

B. Tahanan pentanahan gabungan (total tahanan pentanahan semua kaki menara diparalel):

Maksimum: 5 Ohm

Direkomendasikan: < 3 Ohm

C. Tahanan counterpoise:

Maksimum: 5 Ohm

Direkomendasikan: < 3 Ohm

2. Standar Sistem Pentanahan Gardu Induk

A. Tahanan pentanahan sistem pembumian utama:

Maksimum: 1 Ohm

Direkomendasikan: < 0,5 Ohm

B. Tahanan pentanahan sistem pembumian pembantu:

Maksimum: 5 Ohm

Direkomendasikan: < 3 Ohm

2.2.10 Proteksi Pembumian Saluran Udara Tegangan Tinggi (SUTT)

Proteksi terhadap transmisi tenaga listrik meliputi pengaturan sistem proteksi pada tiang pentanahan agar proses penyaluran barang tenaga listrik kepada konsumen berjalan lancar. Proteksi ini bertujuan untuk mencegah kerusakan pada peralatan transmisi dan memastikan sistem dapat berfungsi dengan baik, termasuk selama perawatan. Proteksi yang efektif memastikan bahwa gangguan dapat

ditangani dengan aman, memungkinkan perawatan dilakukan tanpa membahayakan sistem atau pekerja

Transmisi tenaga listrik dibagi menjadi beberapa kategori berdasarkan tegangan operasionalnya. Transmisi 500 kV, yang masih digunakan di Indonesia, termasuk dalam kategori pertama; transmisi 150 kV termasuk dalam kategori kedua; dan transmisi 75 kV termasuk dalam kategori ketiga. Tegangan di bawah 75 kV biasanya termasuk dalam distribusi tenaga listrik.

Perbedaan antara proteksi dan pengaman terletak pada cara mereka menangani gangguan. Pengaman bertujuan untuk mencegah gangguan mempengaruhi sistem, sedangkan proteksi merespons gangguan yang sudah terjadi dengan cepat untuk mencegah kerusakan lebih lanjut. Kategori berikut dapat diterapkan pada transmisi daftar tenaga:

- a. Gangguan Temporer: Gangguan ini bersifat sementara dan dapat hilang dengan sendirinya. Misalnya, petir, burung, atau pohon yang berisi kawat SUTT. Gangguan sementara biasanya mengakibatkan api loncatan dan hubung singkat.
- b. Gangguan Permanen: Gangguan ini bertahan lama dan tidak memerlukan intervensi. Biasanya disebabkan oleh kerusakan peralatan, seperti kabel putus atau dahan yang terus-menerus menimpa kabel fasa SUTT. Gangguan temporer yang sering terjadi dapat menyebabkan kerusakan yang akhirnya menyebabkan gangguan permanen.

Transmisi tenaga listrik dilindungi sepanjang transmisi, namun pemeliharaan transmisi dilakukan di induk gardu, baik pada siang hari maupun malam hari induk gardu. Dengan cara ini, kerusakan yang terjadi akibat gangguan jaringan transmisi dapat diminimalkan, meskipun kabel tanah masih perlu dipertimbangkan. Penggunaan kawat tanah di bagian atas kawat fasa menghasilkan terciptanya kawat fasa dari petir dan transmisi beberapa sinyal.

Baik Saluran Udara Tegangan Tinggi (SUTT) maupun Saluran Udara Tegangan Ekstra Tinggi (SUTET) merupakan bangunan yang disewakan di tengah suatu bangunan karena struktur dan lokasinya. Sambaran petir pada SUTT/SUTET dapat memperlambat muatan listrik, yang meningkatkan tegangan pada saluran tersebut. Tegangan lebih ini berbentuk impuls gelombang yang merambat ke ujung-ujung SUTT/SUTET dan dapat merusak isolasi peralatan di Gardu Induk (GI) jika

tidak ditangani dengan baik. Hal ini juga dapat merusak peralatan isolasi di Gardu Induk (GI) Oleh karena itu, penting untuk menggunakan alat pelindung agar tegangan surja yang mencapai gardu induk tidak melebihi batas kekuatan isolasi peralatan. Produk proteksi petir pada SUTT dan SUTET diduga mengandung sejumlah unsur yang dapat digunakan untuk mencegah penularan petir saluran, seperti:

1. Konduktor tanah (*Earth wire*)

Konduktor tanah, juga dikenal sebagai jalur tanah, dipasang di atas konduktor fasa dengan sudut yang seminimal mungkin untuk melindungi konduktor fasa dari sambaran petir. Dengan asumsi bahwa petir menyambar dari arah atas, namun jika petir menyambar dari samping, ada kemungkinan konduktor fasa akan terkena sambaran, yang dapat menyebabkan gangguan.



Gambar 2.9 Posisi dan Konduktor Tanah (a)

Konduktor yang digunakan di tanah terbuat dari baja galvanis atau aluminium yang telah dilapisi. Sementara saluran SUTT dan SUTET biasanya memiliki dua konduktor tanah dipasang di atas konduktor fasa, pemasangan hanya satu konduktor tanah untuk dua penghantar dapat meningkatkan sudut perlindungan, sehingga konduktor fasa lebih rentan terhadap sambaran petir. Konduktor tanah dalam jenis penegang dipegang oleh klem penegang dengan press atau klem penegang dengan mur baut. Dalam jenis penyangga, sebaliknya, konduktor tanah dipegang oleh klem penyangga.

2. Konduktor penghubung konduktor tanah

Konduktor penghubung terbuat dari potongan konduktor tanah yang panjangnya disesuaikan dengan kebutuhan dan dipasang pada ujung travers konduktor tanah untuk memastikan hubungan yang baik antara konduktor tanah dan

tiang. Jenis penegang memungkinkan arus gangguan petir untuk mengalir langsung ke tiang atau antar konduktor tanah. Jenis penyangga memungkinkan konduktor penghubung dipasang pada tiang dan disambungkan ke konduktor tanah melalui klem jembatan atau melalui suspension clamp konduktor tanah.



Gambar 2.9 konduktor penghubung konduktor tanah (b)

3. Konduktor Penghubung Konduktor tanah ke tanah

Dalam daerah dengan intensitas petir tinggi, tiang SUTT dan SUTET sering memiliki konduktor penghubung yang dipasang antara konduktor tanah dan tanah. Fungsi dari konduktor penghubung ini adalah untuk memastikan bahwa arus petir yang mengenai konduktor tanah atau tiang dapat langsung dialirkan ke tanah karena hambatan konduktor lebih rendah daripada hambatan tiang.



Gambar 2.9 konduktor penghubung konduktor tanah ke tanah (c)

2.2.11 Sistem Penumbumian SUTT 150 Kv

Petir adalah fenomena alam yang terjadi ketika muatan listrik loncat antara awan dan bumi. Ini terjadi karena uap air di dalam awan menghasilkan petir. Ketika petir mengenai saluran transmisi, gelombang berjalan yang dihasilkannya dapat berinterferensi, menghasilkan tegangan yang tinggi yang cukup untuk menyebabkan isolator flashover. Sistem distribusi harus dilindungi oleh sistem penumbumian. Untuk melindungi manusia dari sengatan listrik dan komponen instalasi dari tegangan atau arus abnormal, sistem ini menghubungkan penghantar, peralatan, dan instalasi dengan tanah. Tembaga dapat berupa lempeng, batang, atau kerucut. Semakin luas permukaan material grounding yang tertanam di tanah, semakin rendah resistansinya, dan sistem penumbumian akan bekerja lebih baik.

Tujuan umum sistem penumbumian adalah sebagai berikut:

- c. Menyalurkan arus listrik ke tanah baik dalam keadaan normal maupun saat terjadi gangguan tanpa melebihi batas operasional atau menyebabkan kerusakan permanen pada peralatan; dan
- d. Melindungi manusia dan hewan yang tinggal di sekitar peralatan yang dibumikan dari bahaya kejutan listrik.

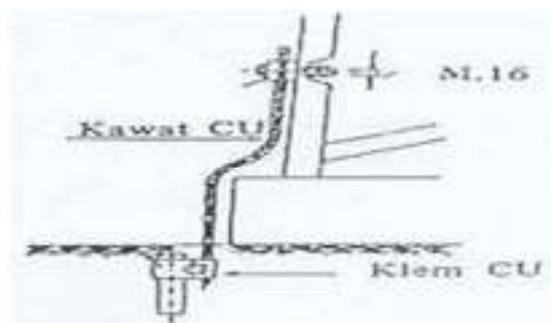
Sistem penumbumian harus memenuhi persyaratan berikut agar berfungsi dengan baik:

- a. Memberikan jalur dengan impedansi rendah ke tanah untuk melindungi personel dan peralatan dan menggunakan rangkaian yang efisien.
- b. Mampu menahan dan menyebarkan gangguan berulang serta arus yang disebabkan oleh surge currents.
- c. Menggunakan bahan yang tahan korosi dari berbagai kondisi kimiawi tanah untuk memastikan kinerja peralatan yang dilindungi akan bertahan sepanjang umurnya.
- d. Memiliki sistem mekanik yang tangguh tetapi mudah dirawat.

sembilan komponen instalasi listrik harus dibumikan:

1. Semua komponen instalasi terbuat dari logam dan dapat disentuh oleh manusia. Ini dilakukan untuk memastikan bahwa potensi logam sama dengan potensi tanah, sehingga aman bagi manusia untuk digunakan.
2. Bagian bawah lightning arrester, yang berfungsi sebagai penghenti petir.

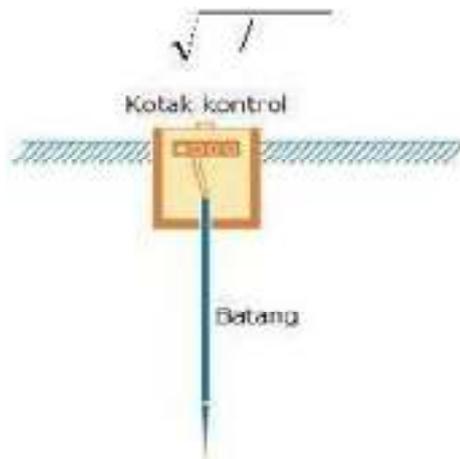
3. Kawat petir di atas saluran transmisi, yang juga berfungsi sebagai penghenti petir. Agar petir yang mengenai kawat petir dapat disalurkan dengan lancar ke tanah melalui kaki tiang transmisi, seluruh kaki tiang harus dibumikan.
4. Titik netral generator atau transformator.
Sistem pentanahan tower SUTT 150 KV terdiri dari lima komponen utama, masing-masing berfungsi untuk melindungi terhadap gangguan hubung tanah.
5. Elektrode Pentanahan (Grounding Electrode): Logam seperti pipa tembaga, plat tembaga, atau pipa galvanis ditanam cukup dalam di tanah sehingga mencapai air tanah.
6. Rel Pentanahan (Ground Bus): Ini adalah rel jaringan pentanahan di mana elektrode terhubung satu sama lain untuk membentuk satu kesatuan. Ini dapat berbentuk jaring dan digunakan ketika ground rod hanya dapat mencapai nilai hambatan pentanahan yang baik.
7. Penghantar Pentanahan juga dikenal sebagai Penghantar Pentanahan adalah kawat yang menghubungkan kaki tower ground rod dengan ground bus pada SUTT. Kawat ini biasanya terbuat dari kawat tembaga atau kawat baja GSW.
8. Klem Pentanahan: Klem biasanya terbuat dari baja dengan lapisan bimetal tembaga dan berfungsi sebagai penghubung antara ground rod dan grounding conductor atau ground bus.
9. Baut: Berfungsi untuk menghubungkan grounding konduktor dengan kaki menara. Baut dapat berupa angka 16, 17, 19, atau 21. Gambar 2.10 menunjukkan sistem pentanahan yang penting untuk memastikan perlindungan efektif terhadap gangguan hubung tanah pada menara SUTT 150 KV.



Gambar 2.10 pembumian tower SUTT 150 Kv (a)

Jenis dan bentuk elektrode pbumian yaitu:

1. Elektrode pita atau strip: Elektrode ini terbuat dari penghantar berbentuk pita dengan penampang bulat atau pilin, dan biasanya ditanam secara dangkal. Bentuk elektrode ini bisa lurus, radial, melingkar, jala-jala, atau kombinasi dari bentuk-bentuk ini.
2. Elektroda Batang: Karena murah dan dapat mencapai lapisan tanah dengan tahanan jenis rendah, elektroda jenis ini sering digunakan. Panjang, diameter, dan bahan elektroda adalah parameter utamanya. Elektroda ini biasanya terbuat dari tembaga murni atau berlapis baja. Tembaga murni lebih baik digunakan di tanah yang memiliki kadar garam tinggi, sementara tembaga berlapis baja lebih baik digunakan di lingkungan yang mengalami korosi tinggi. Namun, kedua jenis elektroda memiliki kapasitas yang lebih rendah untuk menghantarkan arus dibandingkan dengan tembaga murni. Untuk mencegah korosi, elektroda batang biasanya dilapisi dengan bahan anti-karat. Karena elektroda tidak terkontak langsung dengan tanah, bahan ini tidak mempengaruhi impedansi keseluruhan.



Gambar 2.10 Elektroda Batang (b)

Rumus Tahanan Pbumian untuk Elektroda Batang:

$$R_G = R_R = \rho / 2\pi L_R [\ln (4L_R / A_R) - 1] \dots\dots\dots (2.1)$$

Keterangan:

RG = Tahanan pbumian (ohm)

RR = Tahanan pembedaan untuk batang tunggal (ohm)

ρ = Tahanan jenis tanah (ohm-meter)

LR = Panjang elektroda (meter)

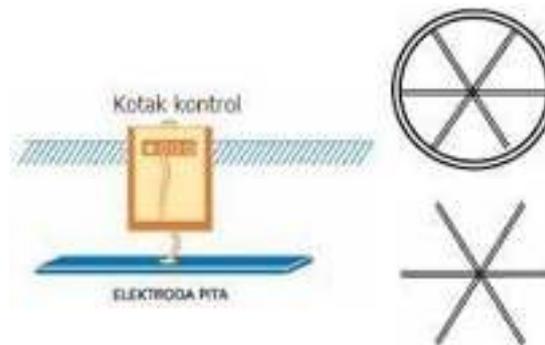
AR = Diameter elektroda (meter)

3. Elektroda Pita: Elektroda ini digunakan untuk mengurangi impedansi surja, terutama surja petir frekuensi tinggi. Untuk menurunkan resistensi kaki menara, elektroda pita dipasang di tempat dengan tahanan jenis tanah tinggi. Ada dua jenis elektroda pita.

a. Elektroda Kontinyu: Ini terdiri dari beberapa kawat horizontal dengan panjang lengan yang sama dan dipisahkan antar lengan dengan sudut yang sama.

b. Elektroda Radial: Ini terdiri dari beberapa kawat horizontal yang ditanam dari ujung ke ujung di bawah saluran transmisi atau sepanjang bagian tertentu. Untuk tujuan surja petir, elektroda jenis ini lebih bermanfaat.

c. Elektroda Pelat: Elektroda pelat ditanam tegak di dalam tanah.



Gambar 2.10 Elektroda Pita (c)

$$R_G = R_w = \rho / \pi L_w [\ln(2L_w / \sqrt{d_w Z_w}) + 1,4w / \sqrt{A_w} - 5,6 \dots \dots \dots (2.2)$$

Dimana

R = Tahanan dengan kisi-kisi (grid) kawat (ohm)

ρ = Tahanan jenis tanah (ohm-meter)

LW = Panjang total grid kawat (meter)

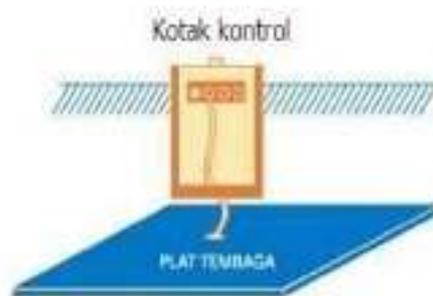
DW = Diameter kawat (meter)

AW = Luasan yang dicakup oleh grid (meter²)

ZW = Kedalaman penanaman (meter)

3. Elektroda Plat

Elektroda ini terbuat dari kawat kasa atau pelat logam, baik utuh maupun berlubang. Dalam kebanyakan kasus, plat elektroda ditanam cukup dalam untuk memiliki tahanan pentanahan yang sangat rendah; ini terutama benar untuk jenis elektroda lainnya.



Gambar 2.10 Elektroda Pelat (a)

Rumus tahanan pentanahan untuk elektroda bentuk plat:

$$R = \frac{\rho}{4,1L} (1 + 1,84 b/t) \dots\dots\dots (2.3)$$

Keterangan :

R = Tahanan pembumian pelat (Ohm)

ρ = tahanan jenis tanah (Ohm –meter)

L = Panjang elektroda pelat (m)

b = Lebar pelat (m)

T = kedalaman pelat tertanam dari permukaan tanah (m)

Faktor-faktor berikut memengaruhi nilai pembumian tiang SUTET:

Panjang Ground Rod: Menambah panjang ground rod dapat membantu mengurangi hambatan pentanahan pada tower SUTT 150 kV, tetapi ini hanya akan mengurangi hambatan pentanahan dalam jumlah terbatas. Jika ground rod paralel digunakan, persamaan yang sama masih berlaku untuk menghitung hambatan pentanahan menara, asalkan variabel diubah sesuai dengan jumlah dan jarak antara ground rod. Faktor yang tergantung pada penempatan ground rod, mewakili kelipatan ground rod.

Diameter Pipa Tanah: Persamaan mengatakan bahwa semakin besar diameter pipa tanah, semakin besar hambatan pentanahannya. Ini disebabkan oleh luas kontak yang lebih besar antara ground rod dan tanah di sekitarnya.

Tahanan Jenis Tanah: Tahanan jenis tanah tempat elektroda pentanahan ditanam adalah faktor yang paling banyak mempengaruhi tahanan sistem pentanahan. Beberapa faktor mempengaruhi tahanan jenis tanah pada kedalaman yang terbatas.

a. Jenis Tanah

Tabel 2.1 Jenis Tanah

NO	Jenis tanah	Tahanan Jenis (ohm.m)
1	Tanah rawah	10 s.d. 40
2	Tanah liat dan Ladang	20 s.d. 100
3	Pasir basah	50 s.d. 200
4	Kerikil basah	200 s.d. 3.000
5	Pasir dan kerikil kering	<10.000
6	Tanah berbatu	2.000 s.d. 3.000
7	Air laut dan tawar	10 s.d. 100

Sumber : PUIL 2000

b. Lapisan tanah (berlapis-lapis dengan tahanan jenis berlainan atau sama)

c. Kelembaban tanah

d. Temperatur

Tabel 2.2 Efek Temperatur Terhadap Resistivitas Tanah

No	Temperatur (°C)	Resistivitas (Ohm.cm)
1	-5	70.000
2	0	30.000
3	0	10.000
4	10	8.000
5	20	7.000
6	30	6.000
7	40	5.000
8	50	4.000

Karena konduktivitas yang berbeda dari komponen penyusun tanah, tahanannya berbeda untuk setiap jenis tanah. Tahanan jenis tanah yang lebih rendah cenderung

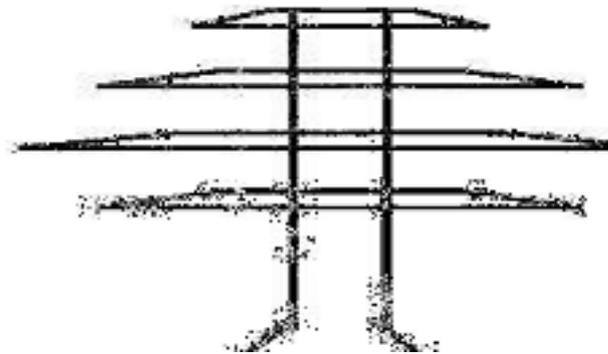
ditemukan di tanah dengan kelembaban tinggi. Menambah air atau membasahi tanah meningkatkan kelembaban tanah, yang merupakan cara konvensional untuk mengurangi tahanan jenis tanah. Kondisi cuaca sangat memengaruhi nilai tahanan jenis tanah pada kedalaman terbatas. Untuk mendapatkan nilai tahanan jenis rata-rata untuk perencanaan, diperlukan pengukuran atau penyelidikan selama periode waktu tertentu. Tahanan tanah juga biasanya dipengaruhi oleh jarak antara permukaan air tanah konstan dan permukaan tanah. Seringkali, elektroda pentanahan ditanam hingga kedalaman di mana air tanah stabil untuk mengurangi dampak perubahan musiman pada tahanan jenis tanah.

2.2.12 Metode Sistem Pembumian SUTT 150 Kv

Sistem pembumian dapat dilakukan dengan berbagai cara.

a. Pembumian dengan driven ground

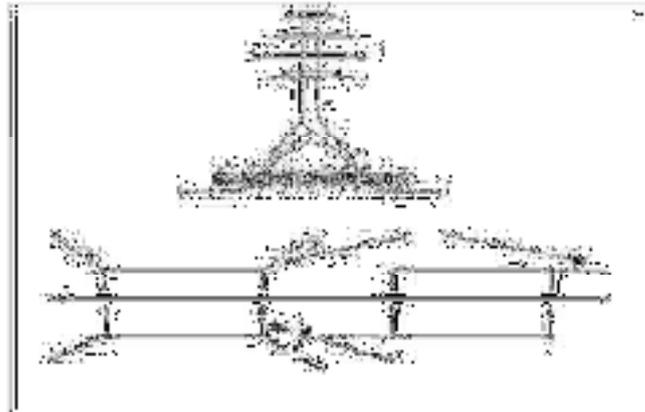
Metode ini melibatkan menancapkan batang elektroda ke tanah, seperti yang ditunjukkan pada gambar 2.12 (a).



Gambar 2.11 Pembumian driven ground (a)

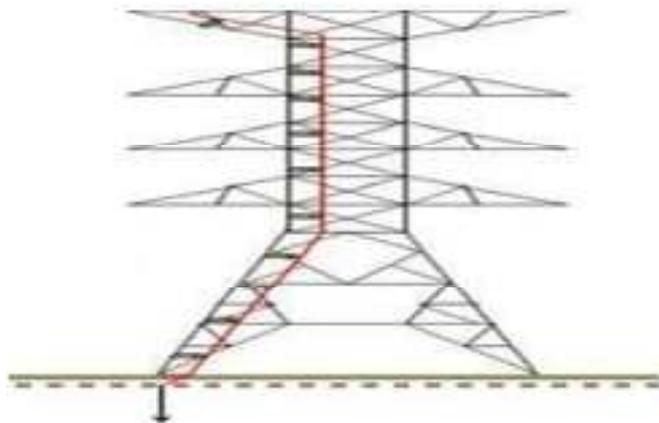
b. Pembumian dengan counterpoise

Metode pembumian dengan counterpoise dilakukan dengan menanam kawat elektroda sejajar atau radial beberapa sentimeter di bawah permukaan tanah, biasanya antara tiga puluh hingga sembilan puluh sentimeter, seperti yang ditunjukkan pada gambar 2.12 (b).



Gambar 2.11 Penumian counterpoise (b)

Ketika resistansi tanah terlalu tinggi dan tidak dapat diturunkan hanya dengan metode pennumian tanah yang digerakkan, pennumian counterpoise biasanya digunakan. Ini terjadi sering karena resistivitas tanah yang sangat tinggi, seperti yang ditunjukkan pada gambar 2.12 (b).



Gambar 2.12 menunjukkan penahanan tiang manesman. (c)

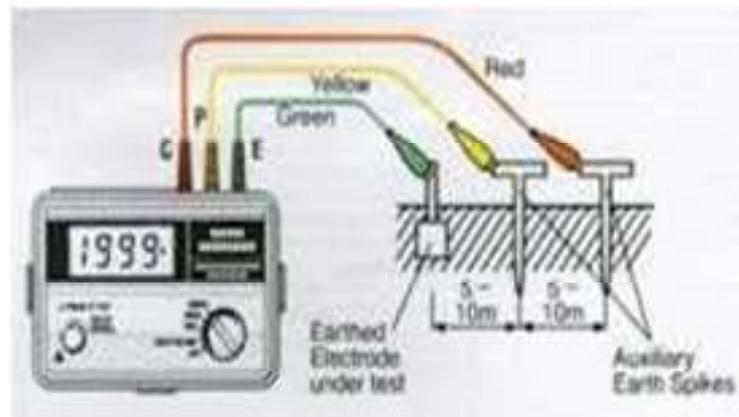
Untuk mencapai hambatan pennumian di bawah 10 ohm, digunakan pennumian dengan driven ground atau kombinasi driven ground dengan kawat pentanahan untuk membentuk ground bus. Metode ini digunakan pada tower SUTT. Ground rod yang digunakan memiliki panjang 240 cm dan terbuat dari tembaga atau baja dengan diameter 5/8 inci. Ground bus ditanam sedalam 60 cm di bawah permukaan tanah, dan ground rod ditanam sedalam 1,8 meter.

2.2.13 Alat Ukur Pengukuran Pembumian SUTT 150 Kv

Alat yang digunakan untuk mengukur pembumian adalah Earth Tester, yang berfungsi untuk mengukur nilai resistansi sistem pembumian. Mengetahui seberapa besar tahanan tanah di suatu area sangat penting sebelum melakukan pembumian dalam sistem pengamanan instalasi listrik. Earth Tester dapat berupa alat ukur analog atau digital.



Gambar Earth Tester Digital (a)



Gambar 2.12 Penggunaan Earth Tester (b)

Alat penguji Tanah memiliki tiga batang elektroda: elektroda E (tanah), elektroda P (potensi), dan elektroda C (arus). Elektroda ini digunakan untuk mengetahui seberapa besar kapasitas tahanan tanah untuk mengalirkan arus listrik. Tester Bumi terdiri dari beberapa komponen, termasuk mikrokontroler, rangkaian penampil, rangkaian tegangan dan arus input, osilator, dan rangkaian.

1. Periksa Kabel Grounding: Pastikan kondisi kabel grounding yang akan diukur. Jika permukaannya kotor, bersihkan dengan lap bersih atau kertas amplas untuk memastikan probe menyentuh tembaga dengan benar dan mencegah kesalahan pembacaan.
2. Periksa Perlengkapan: Periksa perlengkapan dan kondisi alat ukur analog dan digital. Tester Bumi biasanya memiliki tiga kabel: merah, kuning, dan hijau. Hubungkan Kabel: Sambungkan kabel ke Tes Tanah sesuai warnanya dan tancapkan kabel ke tanah dengan jarak 5–10 meter dari grounding atau titik pbumian.
3. Lakukan Pengukuran: Putar tombol alat ukur ke posisi 200 ohm atau 2000 ohm, tergantung kondisi tanah di area yang akan diukur.
4. Baca Hasil Pengukuran: Tekan tombol tekan untuk mengetahui resistansi grounding dan lihat hasilnya pada penampil alat ukur Earth Tester.

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Waktu dan Tempat

Studi ini dilakukan di Jl. Namo Mbelin, Kec. Namorambe, Kabupaten Deli Serdang, Sumatera Utara 20356, selama kurang lebih satu minggu, tepatnya dari 21 Maret 2024 hingga 31 Maret 2024. Penulis melakukan penelitian mereka secara langsung di lapangan dengan bantuan tim pimpinan GI Namorambe dan anggota staf. Karena keterbatasan waktu yang diberikan oleh PT PLN (Persero) UIP3B Sumatera Unit Pelaksana Transmisi Medan Gardu induk Namorambe, penulis hanya melakukan analisis di tiga unit menara. Dalam satu penghantar, terdapat 74 menara Namorambe yang berputar.

3.2 Instrumen Penelitian

Alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Penguji Tanah: 1 buah
2. Pemaku Tanah: 1 buah
3. Kabel Hitam + 5 M dengan Test Lead dan Clip: 1 buah
4. Kabel Kuning + 10 M dengan Test Lead dan Clip: 1 buah
5. Kabel Merah + 15 M dengan Test Lead dan Clip: 1 buah
6. Laptop: 1 buah

3.2.1 Earth Tester

Sebelum menerapkan sistem pembumian di instalasi listrik, sangat penting untuk mengetahui nilai tahanan tanah, karena Earth Tester adalah alat yang digunakan untuk mengukur resistansi grounding. Menggunakan tampilan digital dengan segmen-segmen, alat ini memudahkan penyimpanan data pengukuran. Alat ukur tahanan tanah digital ini memiliki tiga batang elektroda yang ditanam: elektroda E (tanah), elektroda P (potensi), dan elektroda C (arus).

Tabel 3.1 Spesifikasi Alat Ukur

Nama Alat	Earth tester
Model	FT 6031
Tipe	HIOKI

3.3.2 Kabel Penghubung Elektroda Batang

Seperti yang ditunjukkan pada gambar 3.1, kabel penghubung elektroda batang biasanya digunakan untuk menjepit elektroda batang saat diukur dengan earth tester. Kabel ini biasanya lebih pendek daripada kabel penghubung lainnya, dan mereka juga disebut anoda.



Gambar 3.1 Kabel Penghubung Elektroda Batang

3.2.3 Kabel Penghubung Elektroda Bantu 1

Gambar 3.2 menunjukkan kabel penghubung elektroda bantu 1, yang memiliki panjang dua kali lipat dari kabel penghubung elektroda bantu sebelumnya. Ini juga dikenal sebagai kabel katoda.



Gambar 3.2 Kabel Penghubung Elektroda Bantu 1

3.2.4 Kabel Penghubung Elektroda Bantu 2

Gambar 3.3 menunjukkan kabel penghubung elektroda bantu 2, yang biasanya berada di antara elektroda batang dan elektroda bantu 1, dan disebut sebagai kabel katoda. Panjang kabel penghubung ini lebih panjang daripada kabel penghubung elektroda batang, dan istilah untuk kabel ini adalah "kabel katoda."



Gambar 3.3 Kabel Penghubung Elektroda Bantu 2

3.2.5 Elektroda Bantu

Gambar 3.4 menunjukkan bahwa elektroda bantu berfungsi sebagai pembanding dari elektroda utama untuk menghitung nilai tahanan tanah.



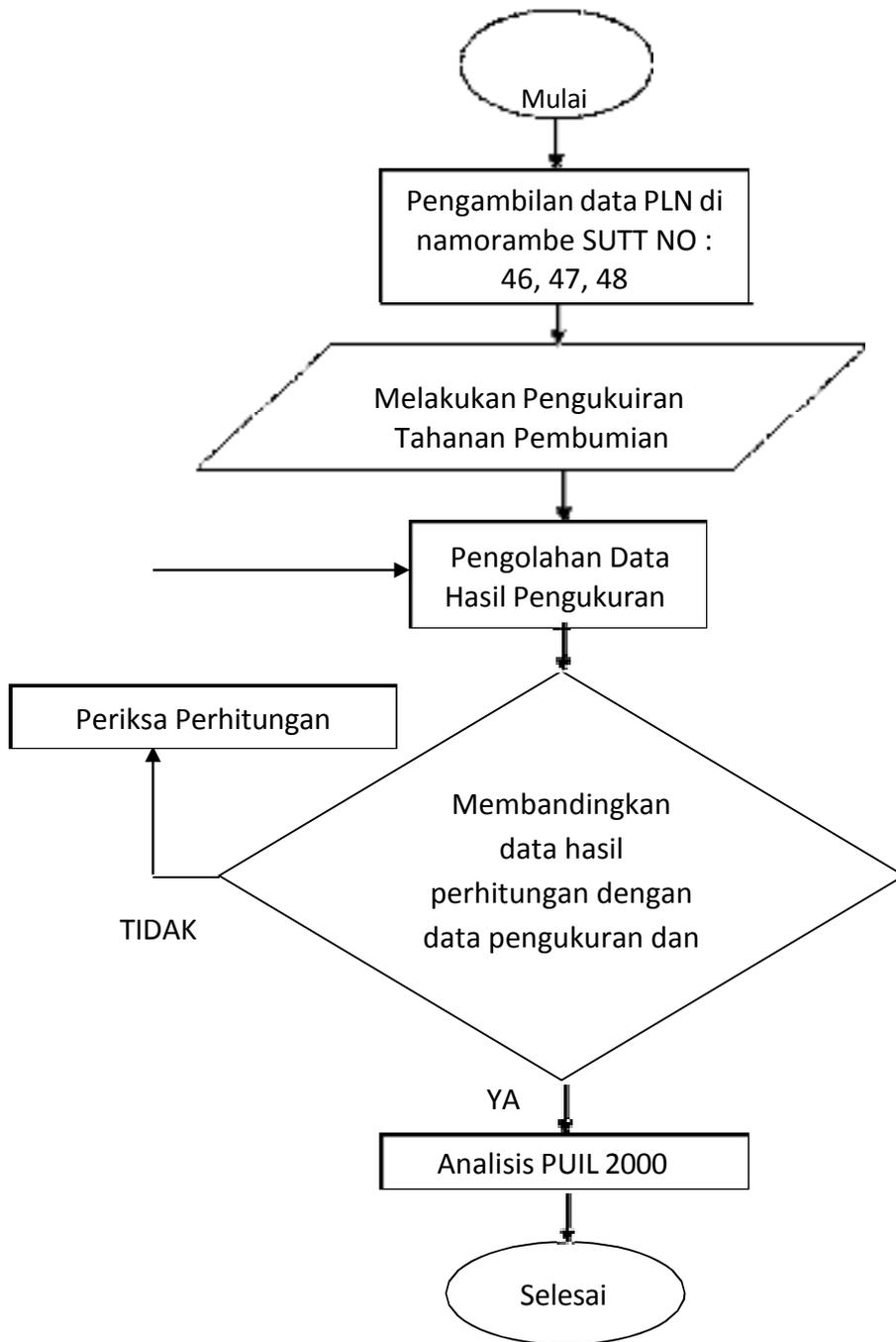
Gambar 3.4 Elektroda Bantu

3.3 Langkah – langkah Penelitian

Dalam proses pengumpulan data penelitian, beberapa metode digunakan:

1. Metode wawancara dan diskusi: Metode ini melibatkan wawancara dan diskusi dengan pegawai PLN NAMORAMBE-SELAYANG mengenai hasil pengukuran tahanan pentanahan di kaki tower 46, 47, dan 48.
2. Metode studi literatur dan internet: Untuk mendapatkan informasi dan data yang diperlukan, penulis membaca buku-buku dan sumber internet terpercaya yang relevan dengan penelitian.
3. Pengambilan data lapangan: Penulis melakukan pengukuran langsung di lapangan selama 4 hari untuk mendapatkan data yang akurat.

3.4 Diagram Alir



Gambar 3.5 Diagram Alir

3.5 Pengumpulan Data

Dalam penelitian ini, pengumpulan data dilakukan sebagai berikut:

1. Pengamatan lapangan tentang jenis tanah di beberapa SUTT;
2. Pengumpulan data tentang pengukuran pembumian di setiap kaki; dan
3. Pengukuran aktual yang secara teoritis dilakukan penulis di lapangan.

3.6 Pengujian Pengukuran

Untuk mengukur ketahanan pentanahan, alat ukur tanah digital HIOKI model FT 6031 dengan skala ukur 20Ω digunakan. Untuk menara Namorambe-Selayang 150 kV, yang terdiri dari 74 menara, digunakan elektroda batang atau grounding rod, dengan empat elektroda ditanam secara paralel. Jarak antar tower adalah 300 m. Pengukuran dilakukan pada setiap kaki tower yang ditandai dengan titik A, B, C, dan D. Namun, dalam analisis data, hanya pengukuran tahanan gabungan dari keempat elektroda batang yang digunakan. Jenis tanah yang diukur pada kaki tower No 46, 47, dan 48 adalah tanah liat dan tanah bebatuan.

Persiapan sebelum pengukuran meliputi:

1. Pemeriksaan Peralatan: Sebelum menggunakan alat ukur, periksa baterainya.
2. Pengkabelan: Elektroda E (kabel hitam) terhubung ke kawat grounding dari alat ukur. Elektroda C (kabel kuning) terhubung ke probe C, yang merupakan elektroda bantu, dan elektroda P (kabel merah) terhubung ke probe P, yang juga merupakan elektroda bantu.
3. Pemasangan Kabel: Setiap kabel harus dipasang ke tester tanah sesuai dengan warna yang telah ditetapkan dan ditanamkan pada jarak 5-10 meter dari titik grounding.
4. Pengukuran: Setelah probe dipasang, pastikan voltase tanah tidak melebihi 10 volt. Kemudian, sesuai kebutuhan, atur switch ke 20, 200, atau 2000 Ω .
5. Pengecekan Hasil: Pada alat ukur, tekan tombol "press to test" untuk melihat hasilnya.

Tabel 3.5 Contoh Data Sheet Hasil Pengukuran

No	Gardu Induk	Tower	Lag A	Lag B	Lag C	Lag D	Jenis Tanah

Dalam penyusunan data sheet ini, lokasi/outgoing adalah alat atau komponen yang berfungsi sebagai objek pengukuran. Lokasi titik pengukuran sistem pembumian pada SUTT ditunjukkan dengan titik A, B, C, dan D.

3.7 Perhitungan Data

Selain itu, penulis dalam penelitian ini menganalisis data dari sudut pandang teori dengan menghitung tahanan jenis tanah dan tahanan elektroda ke tanah menggunakan rumus pentanahan jenis elektroda batang yaitu :

$$R = \rho \frac{2\pi L}{\ln 4La - 1} \text{ atau } \rho = \frac{2\pi LR}{\ln 4La - 1}$$

3.8 Perhitungan tahanan jenis tanah

Nilai tahanan tanah dapat dihitung dengan menggunakan persamaan $R = \rho L/A$, yang menganggap bahwa tahanan tanah merata di seluruh volume tanah. Namun, karena jenis tanah yang berbeda di sekitar sistem pembumian, hal ini jarang terjadi. Profesor H.B. Dwight mengembangkan persamaan pasak tunggal yang lebih akurat untuk mengatasi hal ini.

$$R = \rho \frac{2\pi L}{\ln 4La - 1} \text{ atau } \rho = \frac{2\pi LR}{\ln 4La - 1}$$

Keterangan:

R = Tahanan elektroda terhadap tanah (Ω)

ρ = Tahanan jenis tanah (Ω -m)

L = Panjang elektroda terhadap tanah (m)

a = Jari-jari penampang elektroda (m)

Untuk menghitung tahanan jenis tanah (ρ), data yang diperlukan termasuk hasil pengukuran tahanan pentanahan (RRR) dari empat unit menara SUTT 150 kV

NAMORAMBE – SELAYANG. Data yang dikumpulkan melalui pengukuran langsung meliputi:

1. Diameter batang elektroda 0,015 meter dan jari-jari elektroda 0,0075 meter; dan
2. Hasil pengukuran tahanan pentanahan untuk masing-masing menara dengan panjang elektroda 5 meter.

3.9 Perhitungan tahanan elektroda ke tanah

Profesor H.B. Dwight menciptakan persamaan $R = \rho L/A$ untuk menghitung tahanan elektroda terhadap tanah, yang didasarkan pada asumsi bahwa tahanan tanah seragam di seluruh volume tanah.

$$R = \rho 2\pi L / (\ln 4La - 1) \text{ atau } \rho = 2\pi LR (\ln 4L a - 1)$$

Penjelasan:

R = Tahanan elektroda terhadap tanah (Ω)

ρ = Tahanan jenis tanah (Ω -m)

L = Panjang elektroda yang tertanam dalam tanah (m)

a= Jari-jari penampang elektroda (m)

