

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang Masalah

Kebutuhan akan energi listrik terus meningkat dari tahun ke tahun seiring dengan bertambahnya jumlah penduduk. Meningkatnya kebutuhan akan energi listrik tersebut harus diimbangi dengan semakin baiknya sistem tenaga listrik yang ada di Indonesia. Keberhasilan suatu operasi sistem tenaga listrik salah satunya bergantung pada kinerja gardu induk yang efisien dan memuaskan.

Pada gardu induk kemungkinan terjadinya bahaya terutama disebabkan oleh timbulnya gangguan yang menyebabkan arus mengalir ke tanah. Arus gangguan ini akan mengalir pada bagian – bagian peralatan yang terbuat dari metal dan juga mengalir dalam tanah di sekitar gardu induk. Arus gangguan tersebut menimbulkan gradien tegangan diantara peralatan dengan peralatan, peralatan dengan tanah, dan juga gradien tegangan pada permukaan tanah itu sendiri dan dapat menimbulkan bahaya pada peralatan yang berada di gardu induk. Hal itu perlu dianalisis untuk memastikan maka sistem grid yang diterapkan di gardu induk memenuhi standart IEE Std 80-2013.

1.2 Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian adalah sebagai berikut :

1. Untuk memperoleh nilai tegangan langkah dan tegangan sentuh yang diizinkan serta tegangan langkah sebenarnya dan tegangan sentuh yang sebenarnya pada sistem pembumian gardu induk tanjung morawa 150 kV dan mengetahui bentuk pembumian grid serta jumlah kombinasi grid dan rod yang paling ekonomis dan aman di gardu induk tanjung morawa 150 kV.
2. Untuk mengetahui kondisi kelayakan dan keamanan sistem pembumiangardu induk tanjung morawa 150 kV dan untuk mengetahui sistem pembumian dari gardu induk tamora, apakah masih memenuhi persyaratan yang diizinkan atau tidak.

1.3 Metode Penelitian

Untuk menyelesaikan Tugas Akhir ini maka penulis menjalankan beberapa tahapan antara lain :

1. Studi Literatur yaitu dengan membaca teori-teori yang berkaitan dengan topik tugas akhir ini yang diperoleh dari buku-buku referensi baik yang dimiliki oleh penulis atau di perpustakaan serta juga internet dan lain-lain.
2. Melakukan penelitian melalui pengukuran pembumian dan analisis pembumian.
3. Studi bimbingan yaitu diskusi, berupa tanya jawab dengan Dosen pembimbing yang telah ditunjuk oleh pihak jurusan Teknik Elektro Universitas HKBP Nommensen Medan.

1.4 Batasan Masalah

Adapun pembatasan masalah yang dilakukan dalam penulisan penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Dalam penelitian ini akan di ukur nilai resistansi pada peralatan Gardu Induk Tanjung Morawa.
2. Dalam penelitian ini analisis resistansi mengacu terhadap standar acuan yang digunakan adalah berdasarkan standar IEEE Std 80-2013 : IEEE Guide for Safety in AC Substation Grounding.
3. Analisis ini juga dilakukan terhadap Lay Out, tegangan sentuh yang diizinkan, tegangan sentuh sebenarnya, tegangan langkah, tegangan langkah sebenarnya dan tegangan pindah.
4. Hanya mengevaluasi sistem 150 kV dari gardu induk 60 MVA Tanjung Morawa.
5. Alat ukur Earth Tester tipe KYOTISU.
6. Pengukuran dilakukan siang hari.
7. Pengukuran ini dilakukan pada 6 lokasi antara lain :
 - a. Bay Kopel 150 kV
 - b. Bay TD 1 60 MVA
 - c. Bay TD 2 60 MVA
 - d. Bay TD 3 60 MVA
 - e. Bay Denai
 - f. Bay Sei-Rotan

1.5 Sistematika Penulisan

Dalam tulisan ini dilakukan pembahasan secara sistematis, belum sampai pada inti permasalahan akan dijelaskan pengertian dasar untuk menggambarkan secara garis besar dari apa yang akan penulis sajikan. Adapun sistematika penulisan tugas akhir ini adalah sebagai berikut :

BAB I Pendahuluan

Bab ini merupakan pendahuluan yang berisikan uraian tentang latar belakang, tujuan penulisan, metode penulisan, batasan masalah, sistematika penulisan.

BAB II Tinjauan Pustaka

Bab ini menjelaskan tentang pengertian sistem pembumian, tahanan jenis tanah, sistem pembumian Grid dan lain sebagainya.

BAB III Metodologi Penelitian

Bab ini menjelaskan tentang bagaimana langkah yang di ambil untuk pengambilan data dalam melaksanakan penelitian.

BAB IV Hasil dan Pembahasan Penelitian

Bab ini menganalisa tentang data hasil penelitian di Gardu Induk 150 kV Tanjung Morawa.

BAB V Penutup

Bab ini berisikan kesimpulan-kesimpulan yang di dapat dari hasil penelitian, serta berisikan saran-saran untuk di masa yang akan datang.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Sistem Pembumian

Sistem pembumian merupakan salah satu faktor yang sangat penting dalam pengamanan pada suatu gardu induk. Sistem pembumian adalah sistem hubungan penghantar yang menghubungkan sistem, badan peralatan, dan instalasi dengan bumi atau tanah sehingga dapat

mengamankan manusia dari sengatan listrik dan mengamankan komponen-komponen instalasi dari bahaya tegangan atau arus abnormal.

Secara umum tujuan pembumian adalah :

- a. Membawa arus listrik ke bumi dalam keadaan normal dan terjadi gangguan tanpa melewati batas pengoperasian dan peralatan atau menimbulkan dampak yang terus menerus pada peralatan.
- b. Untuk menjamin bahwa manusia dan hewan disekitar peralatan yang dibumikan terlindung dari bahaya kejutan listrik.

Agar sistem pembumian dapat bekerja efektif, maka harus memenuhi persyaratan – persyaratan sebagai berikut :

- a. Membuat jalur impedansi rendah ke tanah untuk pengamanan personil dan peralatan, menggunakan rangkain yang efektif.
- b. Dapat melawan dan menyebarkan gangguan berulang dan arus akibat surja hubungan (surge currents)
- c. Menggunakan bahan tahan korosi terhadap berbagai kondisi kimiawi tanah, untuk meyakinkan kontinuitas penampilannya sepanjang umur peralatan yang dilindungi.
- d. Menggunakan sistem mekanik yang kuat namun mudah dalam pelayanan.

Dalam sebuah instalasi listrik, ada empat bagian yang harus dibumikan yaitu :

- a. Semua bagian instalasi yang terbuat dari logam (menghantarkan listrik) dan dapat dengan mudah disentuh manusia. Hal ini diperlukan agar potensial dari logam yang mudah disentuh manusia selalu sama dengan potensial tanah sehingga tidak berbahaya bagi manusia yang menyentuhnya.
- b. Bagian pembuangan muatan listrik (bagian bawah) dari lightning arrester. Hal ini diperlukan agar lightning arrester dapat membuang muatan listrik yang diterimanya dari petir ke tanah dengan lancar.
- c. Kawat petir yang ada pada bagian atas saluran transmisi. Kawat petir ini sesungguhnya juga berfungsi sebagai lightning arrester karena letaknya yang ada di sepanjang saluran transmisi, maka semua kaki tiang transmisi harus dibumikan agar petir yang menyambar kawat petir dapat disalurkan ke tanah dengan lancar melalui kaki tiang saluran transmisi.

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

Secara umum sistem pembumian terbagi dua yaitu :

1. Sistem Pembumian Titik Netral
2. Sistem Pembumian Peralatan
 - a. Metode sistem Pembumian

2.1.1. Sistem Pembumian Titik Netral

Pembumian titik netral dari sistem tenaga merupakan suatu keharusan pada saat ini, karena sistem sudah demikian besar dengan jangkauan yang luas dan tegangan yang tinggi. Pembumian titik netral ini dilakukan pada alternator pembangkit listrik dan transformator daya pada gardu-gardu induk dan gardugardu distribusi.

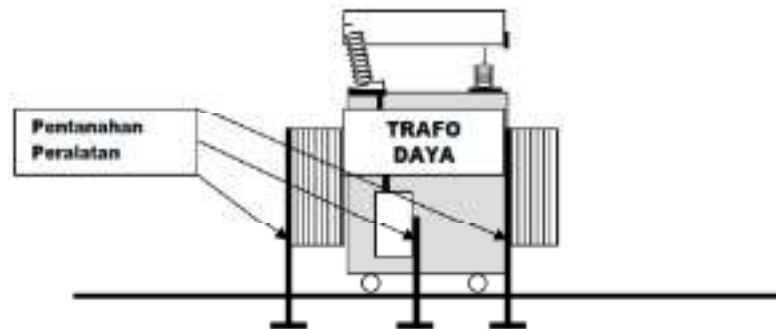
Adapun tujuan pembumian titiknetral sistem adalah sebagai berikut :

- a. Menghilangkan gejala-gejala busur api pada suatu sistem.
- b. Membatasi tegangan-tegangan pada fasa yang tidak terganggu (pada fasa yang sehat).
- c. Meningkatkan keandalan (realibility) pelayanan dalam penyaluran tenaga listrik.
- d. Mengurangi/membatasi tegangan lebih transient yang disebabkan oleh penyalaan bunga api yang berulang-ulang (restrike ground fault).
- e. Memudahkan dalam menentukan sistem proteksi serta memudahkan dalam menentukan lokasi gangguan.

2.1.2. Sistem Pembumian Peralatan

Pembumian peralatan adalah pembumian bagian dari peralatan yang pada kerja normal tidak dilalui arus. Bila terjadi hubung singkat suatu penghantar dengan suatu peralatan, maka akan terjadi beda potensial (tegangan), yang dimaksud peralatan disini adalah bagian-bagian

yang bersifat konduktif yang pada keadaan normal tidak bertegangan seperti bodi trafo, bodi PMT, bodi PMS, bodi motor listrik, dudukan baterai dan sebagainya. Bila seseorang berdiri ditanah dan memegang peralatan yang bertegangan, maka akan ada arus yang mengalir melalui tubuh orang tersebut yang dapat membahayakan. Untuk menghindari hal ini maka peralatan tersebut perlu ditanahkan.



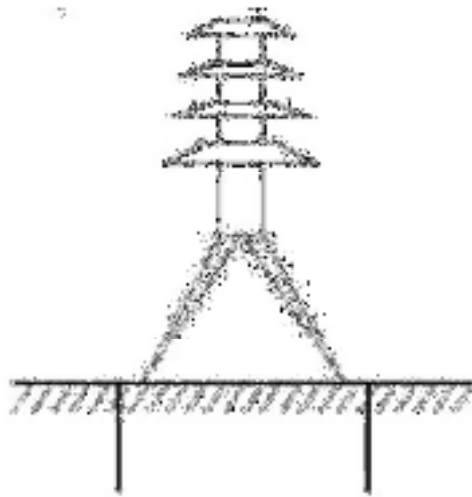
Gambar 2.1. Sistem pembumian peralatan

a. Metode Sistem Pembumian

Ada beberapa metode sistem pembumian yaitu dijelaskan sebagai berikut :

1. Pembumian dengan driven ground

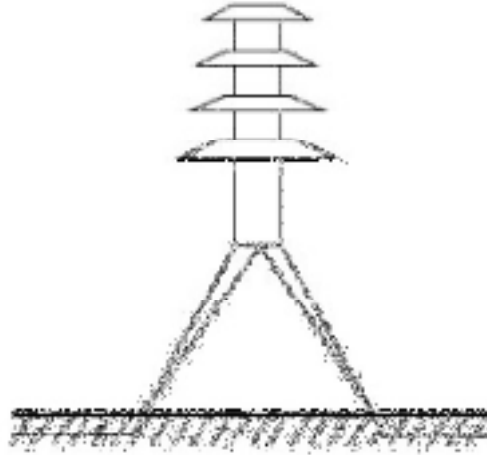
Pembumian dengan driven ground adalah pembumian yang dilakukan dengan cara menancapkan batang elektroda ke tanah, seperti gambar 2.2.



Gambar 2.2. Pembumian dengan driven ground

2. Pembumian dengan counterpoise

Pembumian dengan counterpoise adalah pembumian yang dilakukan dengan cara menanam kawat elektroda sejajar atau radial, beberapa cm dibawah tanah (30 cm – 90 cm), seperti gambar 2.3.



Gambar 2.3 Pembumian dengan counterpoise

Pembumian counter poise biasanya digunakan apabila resistansi tanah terlalu tinggi dan tidak dapat dikurangi dengan cara pembumian driven ground, biasanya karena resistivitas tanah terlalu tinggi, seperti gambar 2.4.

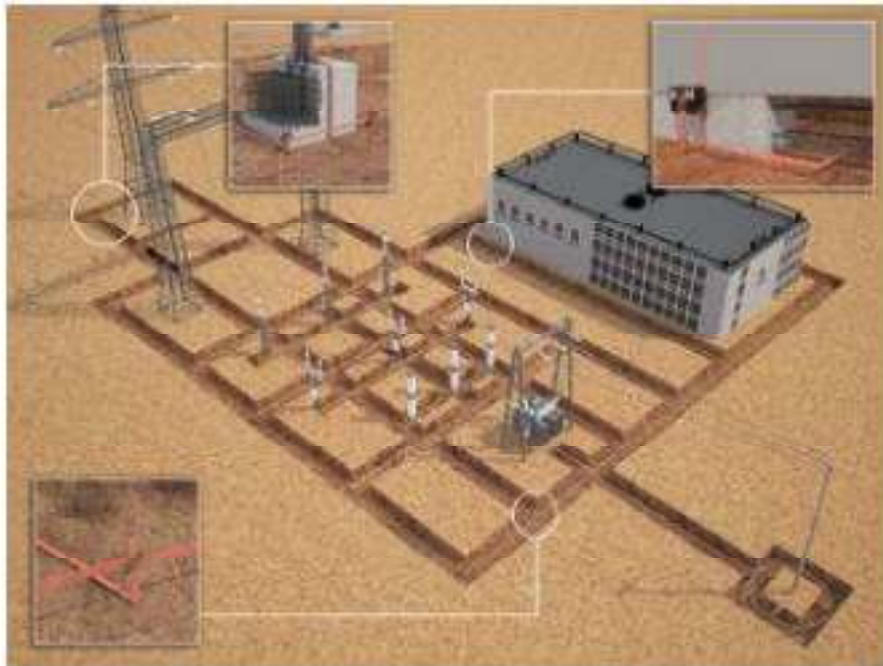


Gambar 2.4. Pembumian menara dengan counterpoise

3. Pembumian dengan mesh atau grid

Pembumian dengan mesh atau grid adalah cara pembumian dengan jalan memasang kawat konduktor elektroda membujur dan melintang dibawah tanah, yang satu sama lain dihubungkan disetiap tempat sehingga membentuk jala (mesh/grid).

Sistem pembumian mesh/grid biasanya dipasang di gardu induk dengan tujuan mendapatkan nilai resistansi tanah yang sangat kecil (kurang dari 1Ω), seperti gambar 2.5.



Gambar 2.5. Pembumian Grid / mesh pada gardu induk

1. Resistivitas (resistivitas) tanah
2. Panjang elektroda pembumian
3. Luas penampang elektroda pembumian

Pembumian grid merupakan salah satu sistem pembumian yang banyak digunakan pada gardu induk karena mempunyai beberapa keuntungan dibandingkan dengan sistem pembumian lainnya.

Sistem pembumian peralatan-peralatan pada gardu induk biasanya menggunakan konduktor yang ditanam secara horizontal, dengan bentuk kisi-kisi (grid). Konduktor pembumian biasanya terbuat dari batang tembaga keras dan memiliki konduktifitas tinggi, terbuat dari tembaga yang dipilin (*bare stranded cooper*) dengan luas penampang 150 mm^2 dan

mempunyai kemampuan arus hubung tanah sebesar 25 KA selama 1 detik. Konduktor ini ditanam sedalam kira-kira 30 cm-80cm atau bila dibawah kepala pondasi sedalam kira-kira 25 cm. Luas kisi-kisi di daerah *switchyard*, sesuai dengan peralatan-pralatan yang ada, dibatasi maksimum 10 m x 5 m. Kisi-kisi pembumian bersambungan satu dengan yang lainnya dan dihubungkan dengan batang pembumian yang terdiri dari batang tembaga. Batang tembaga ini berdiametr 15 mm, panjang 3,5 m, ditanam dengan kedalaman minimal sama dengan panjang batang itu sendiri. Selanjutnya batang pembumian ini disebut titik pembumian.

Untuk pembumian rangka atau badan dari peralatan dan struktur digunakan batang-batang pembumian yang mempunyai luas penampang sama dengan luas penampang kisi-kisi pembumian. Semua dasar isolator-isolator, terminal-terminal pembumian dan pemisah pembumian, netral trafo arus dan trafo tenaga, dasar penangkal petir (*Lightning Arrester*) dan struktur dihubungkan dengan kisi-kisi pembumian. Pagar *switchyard* yang terbuat dari besi/logam dan terisolisir dari tanah dikebumikan melalui batang tembaga (35 mm^2) panjang 1 meter serta ditanam diluar pagar sedalam 50 cm dengan jarak lebih dari 5 meter terhadap kisi-kisi pembumian utama.

Tujuan pembumian gardu induk adalah untuk mencegah meluasnya gangguan yang timbul akibat kenaikan potensial tanah ketika ada arus gangguan baik yang berasal dari peralatan maupun dari luar peralatan guna memberikan perlindungan yang handal serta menjamin kesinambungan kerja dari sistem. Dengan hanya mengurangi tahanan pembumian, gardu induk cukup aman. Karena dibutuhkan system pembumian sedemikian sehingga gradient potensial dan tegangan kontak seluruhnya seragam ada nilainya kurang dari harga yang ditetapkan.

Fungsi pembumian gardu induk yaitu untuk membatasi tegangan yang mungkin timbul diantar peralatan dengan peralatan, peralatan dengan tanah dan meratakan gradient tegangan yang timbul pada permukaan tanah akibat arus kesalahan yang mengalir dalam tanah. Batas tegangan yang diinginkan ialah sekecil mungkin bagi orang yang berada di dalam/sekitar gardu induk.

2.2. Tahanan Penumbumian

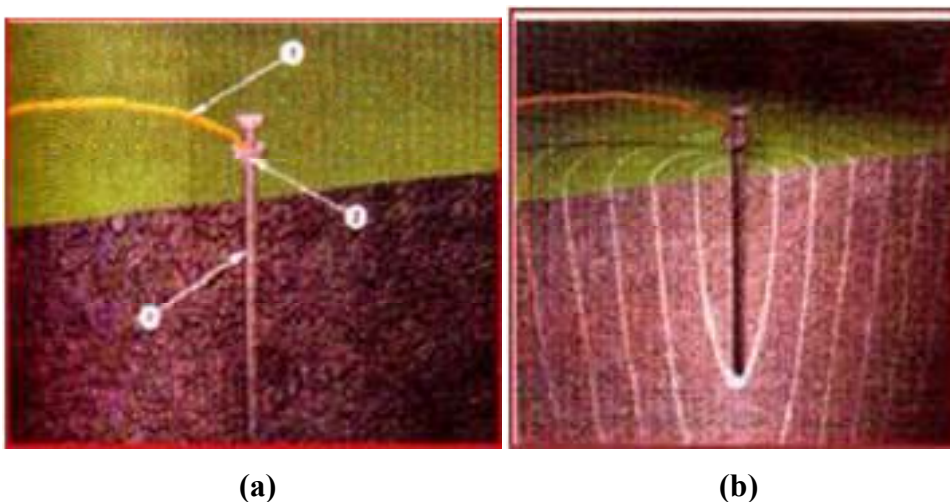
Tahanan penumbumian dapat diartikan besarnya tahanan pada kontak atau hubungan antara masa (body) dengan tanah. Tahanan penumbumian harus sekecil mungkin untuk menghindari bahaya-bahaya yang ditimbulkan oleh adanya arus gangguan tanah. Hantaran netral harus dikebumikan di dekat sumber listrik atau transformator, pada saluran udara setiap 200 m dan di setiap konsumen. Tahanan penumbumian satu elektroda di sekitar sumber listrik, transformator atau jaringan saluran udara dengan jarak 200 m maksimum adalah 10 Ohm dan tahanan penumbumian untuk gardu induk yang besar sekitar 1 Ohm atau lebih kecil sedangkan untuk gardu induk yang lebih kecil sekitar 1 – 5 Ohm.

Namun dalam prakteknya tidaklah selalu mudah untuk mendapatkannya karena banyak faktor yang mempengaruhi tahanan penumbumian. Faktor-faktor yang mempengaruhi besar tahanan penumbumian adalah :

- a. Bentuk elektroda. Ada bermacam-macam bentuk elektroda yang banyak digunakan, seperti jenis batang, pita dan pelat.
- b. Jenis bahan dan ukuran elektroda. Sebagai konsekuensi peletakannya di dalam tanah, maka elektroda dipilih dari bahan-bahan tertentu yang memiliki konduktivitas sangat baik dan tahan terhadap sifat-sifat yang merusak dari tanah, seperti korosi.
- c. Jumlah/konfigurasi elektroda. Untuk mendapatkan tahanan penumbumian yang dikehendaki dan bila tidak cukup dengan satu elektroda, bisa digunakan lebih banyak elektroda dengan bermacam-macam konfigurasi pemancangannya di dalam tanah.
- d. Kedalaman penanaman di dalam tanah. Pemancangan ini tergantung dari jenis dan sifat-sifat tanah. Ada yang lebih efektif ditanam secara dalam, namun ada pula yang cukup ditanam secara dangkal.
- e. Faktor-faktor alam. Jenis tanah, seperti tanah gembur, berpasir, berbatu, dan lain-lain. Moisture tanah, semakin tinggi kelembaban atau kandungan air dalam tanah akan memperendah tahanan jenis tanah. Kandungan mineral tanah, air tanpa kandungan garam adalah isolator yang baik dan semakin tinggi kandungan garam akan memperendah tahanan jenis tanah, namun meningkatkan korosi. Suhu tanah, suhu akan berpengaruh bila mencapai suhu beku dan di bawahnya. Untuk wilayah tropis seperti Indonesia tidak ada masalah dengan suhu karena suhu tanah ada di atas titik beku.

2.3. Tahanan Jenis Tanah

Tahanan pembumian selain ditimbulkan oleh tahanan kontak juga ditimbulkan oleh tahanan sambungan antara alat pembumian dengan kawat penghubungnya. Unsur lain yang menjadi bagian dari tahanan pembumian adalah tahanan dari tanah yang ada disekitar alat pembumian yang menghambat aliran muatan listrik (arus listrik) yang keluar dari alat pembumian tersebut. Arus listrik yang keluar dari alat pembumian ini menghadapi bagian – bagian tanah yang berbeda tahanan jenisnya. Untuk jenis tahanan jenis yang sama, tahanan jenisnya dipengaruhi oleh kedalamannya. Makin dalam letaknya, umumnya makin kecil tahanan jenisnya, karena komposisinya makin padat dan umumnya juga lebih basah. Oleh karena itu, dalam memasang batang pembumian, makin dalam pemasangannya akan makin baik hasilnya dalam akan di dapat tahanan pembumian yang makin rendah Gambar 2.6(a) menggambarkan batang pembumian beserta aksesorisnya, sedangkam Gambar 2.6(b) menggambarkan batang pembumian beserta lingkaran pengaruhnya di dalam tanah. Tampak bahwa makin dalam letaknya di dalam tanah sampai kedalaman yang sama dengan kedalaman batang pembumian, garis lingkaran pengaruh ini makin dekat dengan batang pembumian. Hal ini disebabkan oleh adanya variasi tahanan jenis tanah.



Gambar 2.6. Batang Pembumian beserta Aksesorisnya dan Lingkaran pengaruhnya.
1.konduktor tanah, 2. Penghubung antara Konduktor dengan elektroda tanah, 3. Elektroda tanah

Faktor keseimbangan antara tahanan dan kapasitansi disekelilingi adalah tahanan jenis tanah yang direpresentasikan dengan ρ . Harga tahanan jenis tanah pada daerah kedalaman yang terbatas tergantung dari beberapa faktor yaitu :

- Jenis tanah : tanah liat, berpasir, berbatu dan lain – lain
- Lapisan : berlapis –lapis dengan tahanan berbeda atau uniform
- Prngaruh kelembapan
- Pengaruh temperatur

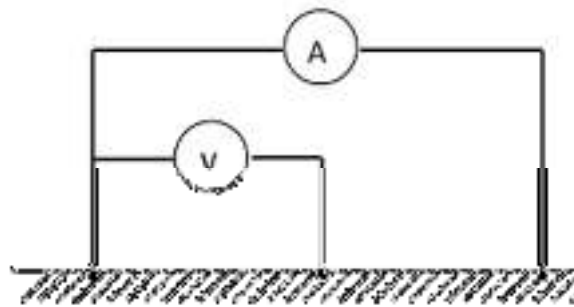
Berdasarkan PUIL 2000, secara umum nilai dari tahanan jenis tanah terdapat pada Tabel 2.1.

Tabel 2. 1.Tahanan jenis tanah

Jenis Tanah	Tahanan Jenis (ohm-m)
Sawah, rawa	30
Tanah Liat	100
Pasir Basah	200
Kerikil Basah	500
Pasir dan Kerikil Kering	1000
Tanah Berbatu	3000

Kesulitan praktis dalam menggunakan data – data di atas adalah karena tanah biasanya terdiri dari dua atau lebih kombinasi dari bermacam – macam tanah. Hal yang penting dalam

penyelidikan karakteristik tanah ialah mencari tahanan jenis tanah. Harga jenis tahanan jenis tanah ini selalu bervariasi sesuai dengan keadaan pada saat pengukuran. Karena itu pada data tahanan jenis tanah sebaiknya dicantumkan keadaan cuaca dan basah keringnya tanah pada waktu pengukuran dilakukan. Dewasa ini ada beberapa cara dilakukan untuk mengukur tahanan tanah. Disini akan digambarkan cara Metode tiga titik. Di dalam cara ini rangkaian yang dipakai adalah seperti Gambar 2.7 Metode tiga titik (three-point method) dimaksudkan untuk mengukur tahanan pbumian. Misalkan tiga buah batang pbumian dimana batang 1 yang tahananannya hendak di ukur dan batang – batang 2 dan 3 sebagai batang pbumian pembantu yang juga belum diketahui tahananannya, seperti pada Gambar 2.6.



Gambar 2.7. Metode Tiga Titik

Bila tahanan diantara tiap – tiap batang pbumian di ukur dngan arus konstan, tiap pengukuran dapat di tulis sebagai berikut :

$$R_{1-2} = \frac{V_{1-2}}{I} = R_{11} + R_{22} - 2R_{12}$$

$$R_{1-3} = \frac{V_{1-3}}{I} = R_{11} + R_{33} - 2R_{13}$$

$$R_{2-3} = \frac{V_{2-3}}{I} = R_{22} + R_{33} - 2R_{23}$$

$$\frac{V_{1-2} + V_{1-3} + V_{2-3}}{I} = 2R_{11} - 2R_{12} - 2R_{13} - 2R_{23}$$

Karena :

$$V_{1-3} = V_{1-2} + V_{2-3}$$

Jadi :

$$R = \frac{V_{1-2}}{I} = R_{11} - R_{12} - R_{13} - R_{23}$$

Maka :

$$R_{11} = R + R_{12} + R_{13} + R_{23} \dots\dots\dots 2.1$$

Sehingga tahanan batang pbumian dari elektroda 1 dapat dibuat :

$$R_{12} + R_{13} - R_{23} = 0 \dots\dots\dots 2.2$$

Keadaan ini dapat diperoleh dengan mengatur elektroda posisi 2 sehingga harga persamaan 2.1 dapat dipenuhi.

2.4. Penumaian Sistem Grid

Dalam sistem penumaian grid sulit mencari nilai tahanan penumaian, karena susunan grid agak kompleks. Sehingga digunakan metode bujur sangkar, dengan anggapan bahwa muatan yang tersebar pada permukaan konduktor yang berbetuk grid adalah sama.

Jarak minimum antara kisi-kisi 2,5 m, tahanan grid akan menjadi semakin berkurang dengan bertambahnya jumlah mesh telah melampaui 16 buah, maka pengurangan nilai penumaiannya menjadi sedikit. Harga tahanan penumaian grid akan menjadi rendah kalau konduktor yang bersilangan saling bersentuh /disatukan sehingga membentuk plat.

2.5. Alat Ukur dan Peralatan yang akan Diukur

2.5.1. Alat Ukur

Alat ukur yang digunakan dalam mengukur penumaian sistem grid menggunakan Earth Tester.

Earth Tester adalah alat untuk mengukur nilai resistansi dari grounding, Besarnya tahanan tanah sangat penting untuk diketahui sebelum dilakukan penumaian dalam sistem pengaman dalam instalasi listrik.

Besar tahanan tanah sangatlah penting untuk diketahui sebelum dilakukan penumaian dalam sistem penumaian instalasi listrik. Untuk mengetahui besar tahanan tanah pada suatu area digunakan alat ukur earth tetster, baik itu analog maupun digital. Hasil pengukuran secara analog sering terjadi kesalahan dalam pembacaan hasil pengukurannya. Untuk mengatasi permasalahan tersebut, maka dirancanglah suatu alat ukur tahanan tanah digital yang memiliki kemudahan dalam pembacaan nilai tahanan yang diukur.



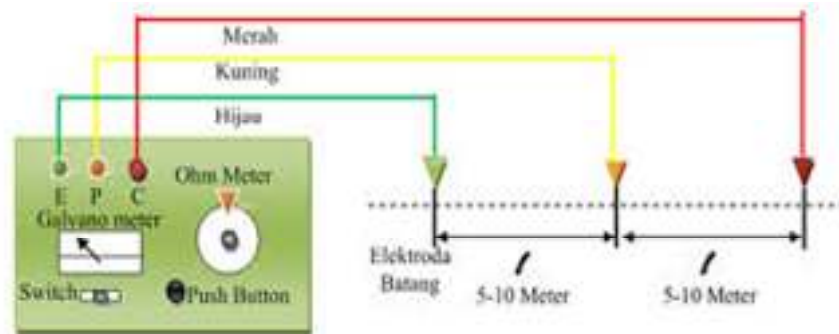
Gambar 2.8. Earth Tester Digital

Perancangan alat ukur earth tester menggunakan tiga batang elektroda yaitu elektroda E (Earth), elektroda P (Potensial), dan elektroda C (Current). Tujuan penggunaan elektroda adalah untuk mengetahui sejauh mana tahanan dapat mengalir arus listrik. Dalam alat ukur tahanan tanah terdapat beberapa bagian penyusunannya, antara lain rangkaian osilator, rangkaian tegangan input, rangkaian arus input, mikrokontroler dan rangkaian penampil.

Prinsip kerja Earth Tester

1. Periksa kondisi kabel grounding BC yang akan di ukur. Bila kotor bersihkan dahulu permukaan kabel tersebut dengan lap bersih/kertas amplas, agar jepitan kabel probe dapat menyentuh langsung bagian permukaan tembaga yang sudah bersih dan untuk mencegah terjadinya kesalahan pembacaan alat ukur.
2. Periksa kondisi dan perlengkapan penunjang alat ukur digital earth tester resistance digital.
3. Earth tester mempunyai tiga kabel diantaranya adalah kabel merah, kabel kuning, kabel hijau.
4. Hubungkan kabel ke earth tester dengan warna yang sudah ditentukan pada alat ukur yang sudah ditentukan pada alat ukur dan tancapkan ketanah dengan masing – masing jarak 5 – 10 meter dari pembumian atau grounding.

5. Lakukan pengukuran grounding (tahanan pembumian) dengan memutar knob alat ukur Pada posisi 200 Ohm atau 2000ohm tergantung dari kondisi tanah pada area setempat yang akan di ukur.
6. Kemudian tekan tombol push button untuk mengetahui resistansi grounding dan akan muncul pada penampil alat ukur earth tester.
7. Selesai, nilai resistansi akan diketahui. Pilihlah resistansi grounding pada nilai kurang dari 1 ohm, bila jarum menunjukkan di bawah angka 1 ohm maka grounding kisaran nol koma yang merupakan standard kebumian (grounding ideal) dan sebaliknya kalau jarum menunjukkan diatas 1 ohm berarti pembumian kurang bagus.



Gambar 2.9. Cara mengukur grounding dengan Earth Tester.

2.5.2. Peralatan yang di Ukur

Dalam sistem gardu induk tanjung morawa peralatan yg akan diukur meliputi :

1. Lightning Arrester
2. Transformator Tegangan (Potensial Transformator)
3. Disconnecting Switch (DS)/Pemisah (PMS)
4. Transformator Arus (CT)
5. Pemutus Tenaga (PMS)
6. Transformator Tenaga/Transformator Daya (TD)

A. Lightning Arrester (LA)



Gambar 2.10. Lightning Arrester (LA)

Lightning Arrester adalah suatu alat untuk mengamankan peralatan sistem dari tegangan lebih yang diakibatkan oleh sambaran petir maupun proses switching atau surja hubung (switching surge).

Prinsip kerja Lightning Arrester (LA) adalah dengan cara memotong tegangan lebih yang sampai pada terminal pelindung LA sehingga tidak merusak isolasi peralatan lain.

B. Transformator Tegangan (Potensial Transformer)

Trafo tegangan adalah trafo satu phasa step-down yang mentransformasikan tegangan sistem ke suatu tegangan rendah yang layak untuk keperluan indikator, alat ukur, rele dan alat sinkronisasi. Hal ini dilakukan atas pertimbangan harga dan bahaya yang dapat di timbulkan tegangan tinggi bagi operator. Tegangan perlrngkapan seperti indikator, meter dan rele dirancang sesuai dengan tegangan sekunder trafo tegangan.



Gambar 2.11. Transformator Tegangan (Potensial Transformer)

Prinsip kerja trafo jenis ini sama dengan trafo daya, meskipun demikian rancangannya berbeda dalam beberapa hal, yaitu :

1. Kapasitasnya kecil (10 s/d 150 VA), karena digunakan untuk daya yang kecil.
2. Galat faktor transformasi dan sudut fasa tegangan primer dan sekunder lebih kecil untuk mengurangi kesalahan pengukuran.
3. Salah satu terminal pada sisi tegangan tinggi dibumikan/ ditanahkan.
4. Tegangan pengenal sekunder biasanya 100 atau $100\sqrt{3}$ V

Ada dua jenis trafo tegangan, yaitu :

1. Trafo tegangan magnetik (Magnetik Voltage Transformer / VT)
Disebut juga Trafo tegangan induktif. Terdiri dari belitan primer dan sekunder pada inti besi yang prinsip kerjanya belitan primer menginduksikan tegangan kebelitan sekundernya.
2. Trafo tegangan kapasitif (Capacitive Voltage Transformer / CVT)
Trafo pembagi tegangan kapasitif dipakai untuk keperluan pengukuran tegangan tinggi, sebagai pembawa sinyal komunikasi dan kendali jarak jauh. Pada tegangan pengenal yang lebih besar dari 110 kV, karena alasan ekonomis maka trafo tegangan menggunakan pembagi tegangan dengan menggunakan kapasitor sebagai pengganti trafo tegangan induktif. Pembagi tegangan kapasitif dapat digambarkan seperti gambar dibawah ini. Oleh pembagi kapasitor, tegangan pada C2 atau tegangan primer trafo penengah V1 diperoleh dalam orde puluhan kV, umumnya 5, 10, 15 dan 20 kV. Kemudian oleh trafo

magnetik tegangan primer diturunkan menjadi tegangan sekunder standar 100 atau $100\sqrt{3}$ Volt. Jika terjadi tegangan lebih pada jaringan transmisi, tegangan pada kapasitor C2 akan naik dan dapat menimbulkan kerusakan pada kapasitor tersebut. Untuk mencegah kerusakan tersebut dipasang sela pelindung (SP). Sela pelindung ini dihubungkan seri dengan resistor R untuk membatasi arus saat sela pelindung bekerja untuk mencegah efek feroresonansi.

C. Disconnecting Switch (DS) / Pemisah (PMS)



Gambar 2.12. Disconnecting Switch (DS) / Pemisah (PMS)

Pemisah (PMS) adalah alat yang dipergunakan untuk menyatakan secara visual bahwa suatu peralatan listrik sudah bebas dari tegangan kerja. Oleh karena itu, pemisah tidak diperbolehkan untuk dimasukkan atau dikeluarkan pada rangkaian listrik dalam keadaan berbeban.

Saklar pemisah (PMS) berfungsi sebagai pemutus rangkaian sama seperti CB, tetapi peralatan ini tidak dilengkapi dengan pemadam bunga api, hal ini dikarenakan PMS hanya dioperasikan pada keadaan tanpa beban dan hanya mampu memutuskan arus hingga rating 5 ampere. Karena tidak dilengkapi alat pemadam bunga api, maka PMS hanya dapat dibuka setelah CB di buka. Dan dioperasikan terlebih dahulu sebelum CB ditutup kembali.

Untuk tujuan tertentu, pemisah penghantar atau kabel dilengkapi dengan pemisah tanah (pisau Pembumian/Earthing Blade). Umumnya antar pemisah penghantar dan pemisah tanah

terdapat alat yang disebut interlok. Dengan terpasangnya interlok ini, maka kemungkinan kesalahan operasi dapat dihindarkan.

D. Transformator Arus (CT)



Gambar 2.13. Transformator Arus (CT)

Trafo arus berfungsi untuk menurunkan yang arus besar / tinggi pada tegangan tinggi / menengah menjadi arus yang lebih kecil pada tegangan rendah yang biasanya disebut arus sekunder. Pada umumnya besar arus nominal dari arus sekunder adalah 5 A atau 1 A.

Berdasarkan type konstruksinya, trafo arus dibedakan menjadi 4 jenis, yaitu :

1. Type cincin (ring/window type)
2. Type cor-coran cast resin (mounded cast resin type)
3. Type tangki minyak (oil tank type)
4. Type trafo-arus bushing.

Pada umumnya bagian – bagian utama dari trafo arus adalah :

- Kumparan, berfungsi untuk mentransformasikan besaran – besaran ukur arus listrik dari yang tinggi/menengah ke yang lebih rendah.
- Isolasi, terdiri dari zat cair(minyak) yang berfungsi untuk mengisolasi bagian yang bertegangan dari bagian yang tidak bertegangan atau untuk mengisolasi bagian bertegangan yang berlainan phasanya.

- Porselen, berfungsi sebagai isolasi antara bagian – bagian yang bertegangan dengan bagian bertegangan yang berlainan phasanya.
- Dehydrating breather, adalah suatu peralatan pernapasan trafo yang berfungsi untuk menyerap udara lembab yang timbul dalam ruang trasfo sehingga mencegah rusaknya minyak (isolasi) trafo.

E. Pemutus Tenaga (PMT)

PMT adalah saklar yang dapat digunakan untuk menghubungkan atau memutuskan arus daya listrik sesuai dengan ratingnya.

Pada saat proses pemutusan atau penghubung arus/daya listrik yang timbul besar api pada PMT. Untuk memadamkan busur api ini, PMT dilengkapi dengan media pemadam busur api berupa minyak, gas atau udara.



Gambar 2.14. Pemutus Tenaga (PMT)

F. Transformator Tenaga / Transformator Daya (TD)



Gambar 2.15. Transformator Tenaga / Transformator Daya (TD)

Transformator Tenaga adalah suatu peralatan tenaga listrik yang berfungsi mentransformasikan daya listrik dari tegangan bolak balik tertentu ke tegangan bolak-balik berbeda sesuai dengan hasil kebutuhan.

Dalam operasi umumnya, trafo tenaga ditanahkan pada titik netralnya sesuai dengan kebutuhan sistem pengamanan proteksi, sebagai contoh trafo 150/70 kv ditanahkan di sisi netral 20 kv-nya.

Transformator tenaga dapat diklasifikasikan menurut :

1. Penempatannya, dibedakan menjadi :
 - Pasangan dalam (indoor)
 - Pasangan luar (outdoor)
2. Jenis pendinginannya, dibedakan menjadi :
 - a. Tipe kering
 - AA : Pendingin udara natural
 - AFA : Pendingin udara terpompa
 - b. Tipe Basah
 - ONAN : Oil Natural Air Natural
 - ONAF : Oil Natural Air Forced
 - OFAF : Oil Forced Air Forced

3. Pemakaian (fungsinya), dibedakan menjadi :
 - Transformator mesin
 - Transformator gardu induk
 - Transformator distribusi
4. Kapasitas dan tegangannya, dibedakan menjadi :
 - Trafo kecil
 - Trafo sedang
 - Trafo besar.

2.6. Tata Letak (Lay Out)

Sistem pembumian yang dipakai pada gardu induk Tanjung Morawa adalah sistem grid (kisi-kisi) dengan menggunakan konduktor tembaga yang ditanam pada seluruh areal gardu induk Tanjung Morawa, dimana kisi-kisi pembumian dihubungkan dengan peralatan yang satu dengan peralatan lainnya.

2.6.1 Arus Fibrilasi

Besarnya arus yang mengalir pada tubuh manusia dimana arus listrik dapat menyebabkan jantung mulai fibrilasi dapat dihitung dengan rumus 2.4.

$$I_k = \frac{0,116}{\sqrt{t}} \dots\dots\dots 2.3$$

2.6.2. Arus Gangguan

Besar arus gangguan yang terjadi pada gardu induk Tanjung Morawa 150 KV adalah sebesar 3000 Ampere.

2.7. Bahaya – Bahaya yang Timbul Pada Saat Gangguan Tanah

Secara umum bahaya – bahaya yang mungkin dapat ditimbulkan oleh tegangan maupun arus listrik yang mengalir terhadap manusia mulai dari ringan sampai yang paling berat yaitu : terkejut, pingsan atau mati, yang meliputi :

1. Tegangan dan kondisi orang terhadap tegangan tersebut.
2. Besarnya arus yang melewati tubuh manusia.
3. Jenis arus, searah atau bolak-balik.

Pada sistem tegangan tinggi sering terjadi kecelakaan terhadap manusia dalam hal ini terjadi kontak langsung atau dalam hal manusia berada dalam suatu daerah yang mempunyai gradient tegangan yang tinggi. Perlu di jelaskan bahwa yang menyebabkan bahaya tubuh manusia adalah besarnya arus yang mengalir dalam tubuh manusia.

Pada gardu – gardu induk kemungkinan terjadi bahaya terutama disebabkan oleh timbulnya gangguan arus yang mengalir ke tanah. Arus gangguan ini akan mengalir pada bagian – bagian peralatan yang terbuat dari metal dan juga mengalir dalam tanah disekitar gardu induk. Arus gangguan tersebut menyebabkan gradien tegangan diantara peralatan dengan peralatan, peralatan dengan tanah dan juga tegangan dipemukaan tanah itu sendiri.

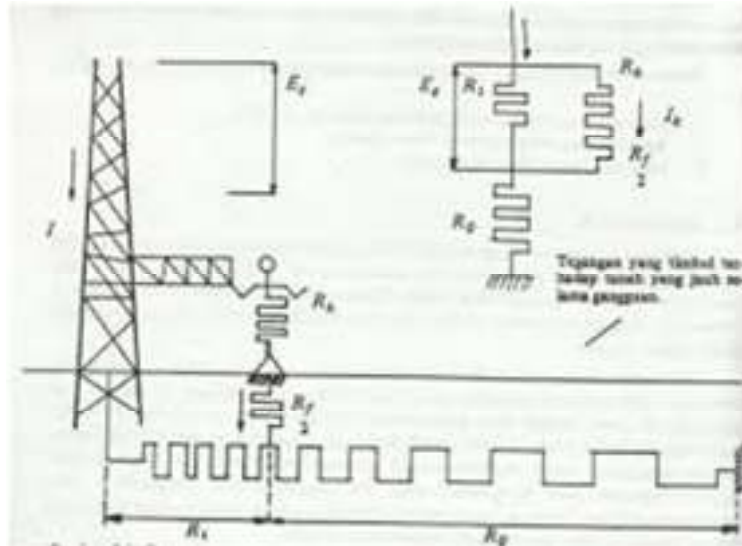
Dengan demikian maka dapat disimpulkan bahwa tegangan akan berbahaya apabila sentuhan dengan tegangan yang menyebabkan mengalirnya arus listrik yang cukup besar di dalam tubuh. Ada tiga jenis tegangan yang dapat menyebabkan terjadinya arus yang mengalir ketubuh manusia, yaitu :

1. Tegangan sentuh (touch voltage)
2. Tegangan langkah (step voltage)
3. Tegangan pindah (transfer voltage)

2.7.1. Tegangan sentuh (touch voltage)

Tegangan sentuh adalah tegangan yang terdapat antara suatu objek yang disentuh dalam suatu titik berjarak 1 (satu) meter, dengan asumsi bahwa objek yang disentuh dihubungkan

dengan kisi – kisi pembumian yang berada dibawahnya, dimana besar arus gangguan dibatasi oleh tahanan orang dan tahanan kontak ke tanah dari kaki orang tersebut. Hal ini dapat dilihat pada gambar 2.15.



Gambar 2.16. Tegangan sentuh

Dari gambar dapat diperoleh hubungan sbagai berikut :

$$E_s = [R + \frac{R_k}{2}] I_k$$

Dimana :

E_s = Tegangan sentuh (volt)

R_t = Tahanan tubuh manusia (1000 ohm)

R_k = Tahanan kontak ke tanah ($R_k = 3\rho_s$)

I_k = Besarnya arus yang melalui badan manusia (Ampere)

T = Waktu kejut atau lama gangguan tanah (detik)

ρ_s = merupakan tahanan jenis permukaan tanah yang dilapisi koral setebal 10 cm= 3000 ohm-meter

Dengan menggantikan $R_k = 3\rho_s$ maka besarnya tegangan sentuh menjadi

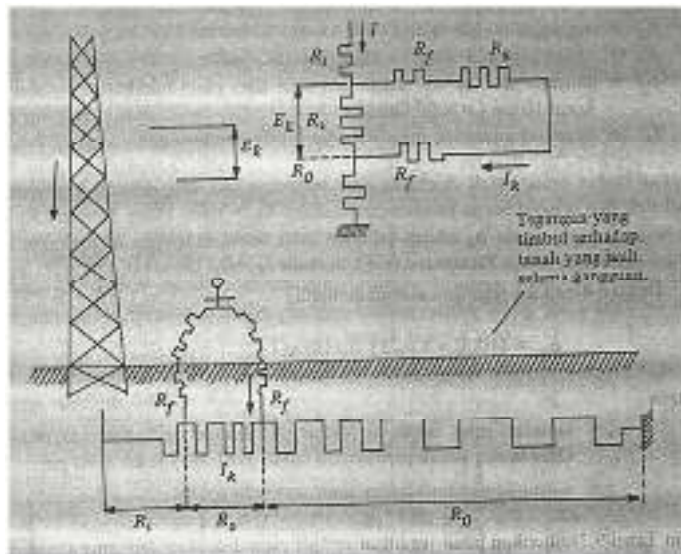
$$E_s = I_k (R_k + 1,5 \times \rho_s) \dots\dots\dots 2.4$$

Tabel 2.2 Tegangan Sentuh yang diizinkan dan lama Gangguan

Lama gangguan t (detik)	Tegangan sentuh yang diizinkan (Volt)
0,1	1.980
0,2	1.400
0,3	1.140
0,4	990
0,5	890
1,0	626
2,0	443
3,0	362

2.7.2. Tegangan Langkah

Tegangan langkah adalah tegangan yang timbul diantara dua kaki manusia yang berdiri di atas permukaan tanah yang sedang dialiri oleh arus kesalahan tanah, dimana panjang langkah berbanding langsung dengan panjang langkah antara dua kaki. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada gambar 2.17.



Gambar 2.17. Tegangan Langkah dan rangkaian penggantinya

$$E_s = (R_k + R_f/2) \cdot I_k$$

Dengan :

E_1 = Tegangan langkah (volt)

R_k = Tahanan badan manusia (1000 ohm)

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

I_k = Arus gangguan tanah (Ampere)

Dengan demikian besarnya trgangsan langkah menjadi :

$$E_1 = I_k(R_k + 6 \rho_s) \dots\dots\dots 2.5$$

Tabel 2.3 Tegangan langkah yang diizinkan dan lama Gangguan

Lama gangguan t (detik)	Tegangan langkah yang diizinkan (Volt)
0,1	7.000
0,2	4.950
0,3	4.040
0,4	3.500
0,5	3.140
1,0	2.216
2,0	1.560
3,0	1.280

2.7.3. Tegangan Mesh

Tegangan mesh merupakan salah satu bentuk tegangan sentuh. Tegangan mesh didefinisikan sebagai tegangan peralatan yang diketanahkan terhadap tengah – tengah daerah yang dibentuk kisi – kisi (center of mesh) selama gangguan tanah. Tegangan mesh ini menyatakan tegangan tertinggi yang mungkin timbul sebagai tegan sentuh yang dapat dijumpai dalam sistem pembumian gardu induk. Dan inilah yang diambil sebagai tegangan untuk desain yang sama.

Tegangan mesh ini secara pendekatan sama dengan ρI , dimana ρ merupakan tahanan jenis tanah dalam ohm meter dan I adalah arus yang melalui konduktor kisi – kisi. Oleh karena itu untuk mencakup pengaruh – pengaruh jumlah konduktor paralel (n), jarak – jarak konduktor paralel (D), diameter konduktor (d), dan kedalam penanaman (h), maka tegangan mesh dapat dihitung dengan persamaan :

$$E_{ms} = K_m K_i \rho \frac{I}{L}$$

dimana :

$$K_m = \frac{1}{2\pi} \ln \frac{D^2}{16hd} + \frac{1}{\pi} \left[\frac{3}{4} \times \frac{5}{6} \times \frac{7}{8} \dots \times \frac{2(n-2)+1}{2(n-2)+2} \right] \dots \dots \dots 2.6$$

dimana :

K_i = faktor koreksi untuk ketidak merataan kerapatan arus yang dihitung dengan rumus empiris = $0,65 + 0,172 n$

D = jarak antara konduktor – konduktor paralel pada kisi – kisi (m)

h = kedalamam penanaman konduktor (n)

d = diameter konduktor kisi – kisi (m)

n = jumlah konduktor paralel dalam kisi – kisi utama, tidak termasuk sambungan melintang

I = besar gangguan tanah (Amp)

ρ = tahanan jenis rata – rata tanah (ohm-meter)

L = panjang konduktor pembedian yang ditanam, termasuk semua batang pembedian (m)

2.7.4. Tegangan Langkah Maksimum Sebenarnya

Tegangan langkah sebenarnya adalah perbedaan tegangan yang terdapat diantar kedua kaki, bila manusia berjalan diatas permukaan tanah dari sistem pembedian pada keadaan terjadi gangguan. Tegangan langkah maksimum sebenarnya dapat dihitung dengan persamaan :

$$E_I = K_s K_i \rho \frac{I_m}{L} \dots\dots\dots 2.7$$

dan

$$K_s = \frac{1}{\pi} \left[\frac{1}{2h} + \frac{1}{D+h} + \frac{1}{2D} + \frac{1}{3D} + \dots + \frac{1}{(n-1)D} \right]$$

Dimana :

ρ = tahanan jenis rata – rata tanah (ohm-meter)

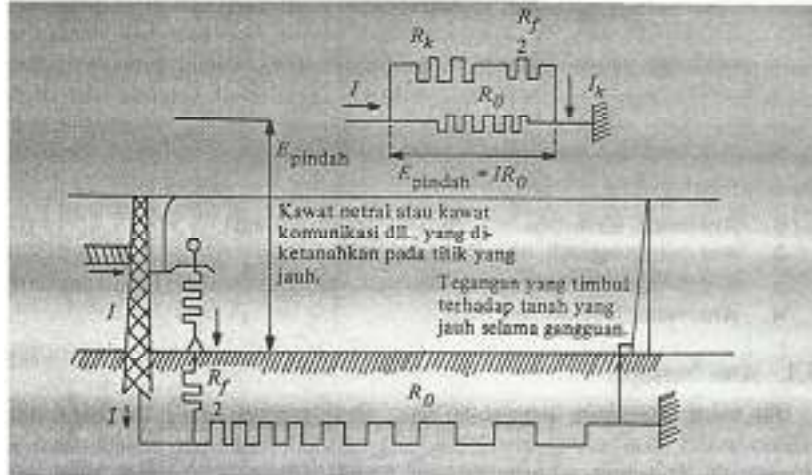
H = kedalaman penanaman konduktor (n)

D = jarak antara konduktor – konduktor pembedian (meter)

$$K_i = 0.65 + 0,173 n$$

I_m = arus gangguan tanah maksimum (Amp)

L = panjang konduktor pembedian yang ditanam, termasuk semua batang elektroda pembedian (m).



Gambar 2.18. Tegangan sentuh dan rangkain penggantinya

2.7.5. Tegangan Pindah

$$E_{\text{pindah}} = I \cdot R_0 \dots\dots\dots 2.8$$

Dengan anggapan $I_k \ll I$ sebab $\frac{R_k}{2} + R_t \gg R_0$ dan

$$R_0 = \frac{\rho}{4r} + \frac{\rho}{L} \dots\dots\dots 2.9$$

Dan

$$r = \sqrt{\frac{A}{\pi}}$$

dimana :

I = Arus gangguan (Amp)

I_k = Arus yang malalui badan (Amp)

r = Jari – jari ekuivalen dari luas gardu induk (meter)

L = Panjang total dari konduktor (m^2)

R_0 = Tahanan pembumian (ohm)

ρ = Tahanan jenis rata – rata tanah (ohm – meter)

Dengan memperhatikan kondisi di atas maka terlihat bahwa arus gangguan total I terbagi menjadi dua, dimana arus I_k akan melewati badan, dan sisanya sebesar $I - I_k$ akan langsung menuju ke tanah. Karena besarnya arus I adalah dalam orde ratusan sampai ribuan ampere, sedangkan arus I_k hanya dalam orde miliampere, maka arus I_k dapat diabaikan terhadap arus I. Dengan demikian maka dapat dianggap bahwa tegangan antara peralatan dengan tanah sebelum dan sesudah di pegang dapat dikatakan sama.

2.8. Jenis – jenis Pembumian pada Sistem Tenaga Listrik

Pada pembumian sistem tenaga listrik terdapat beberapa metode – metode untuk melakukan pembumian yaitu :

- a. Pembumian melalui tahanan :
 1. Tahanan rendah dengan syarat : $R_0 \geq 2 X_0$
 2. Tahanan tinggi dengan syarat : $R_0 \leq \frac{X_{c0}}{3}$
- b. Pembumian melalui reaktor : $R_0 \leq 10 X_1$
- c. Pembumian tanpa impedansi (tidak ada impedansi yang sengaja ditambahkan)
- d. Pembumian efektif : $X_0 \leq 3 X_1$ dan $R_0 \leq X_1$

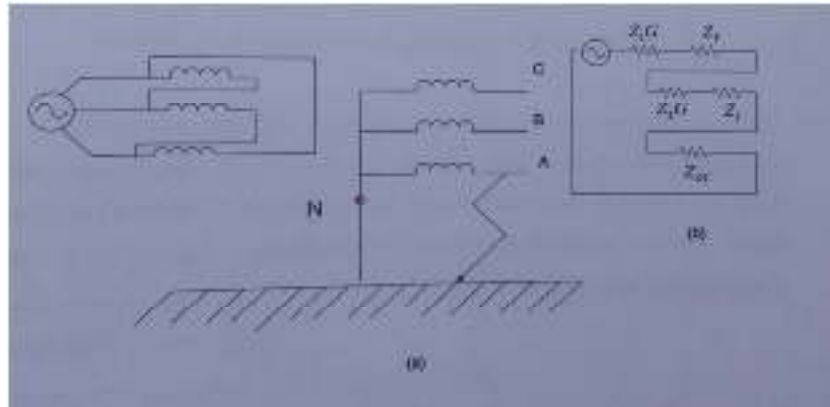
Di bawah ini akan dibahas metode – metode tersebut satu persatu.

2.8.1. Titik Netral Dibumikan Tanpa Impedansi

Pada sistem – sistem yang dibumikan tanpa impedansi, bila terjadi gangguan tanah selalu mengakibatkan terganggunya saluran (line outage), yaitu gangguan itu harus di isolir dengan membuka pemutus daya. Salah satu tujuan dengan mengebumikan titik netral secara langsung ialah untuk membatai tegangan dari fasa – fasa yang tidak terganggu bila terjadi gangguan kawat tanah.

Untuk menyelidiki tegangan fasa – fasa yang tidak terganggu itu marilah kita tinjau suatu sistem yang terdiri dari generator, transformator dan kawat transmisi. Netral sekunder transformator itu diketanahkan tanpa impedansi. Kita misalkan bahwa gangguan kawat-tanah itu

terjadi pada jepitan transformator, Gambar 2.18. jadi jala-jala urutan kawat transmisi itu tidak lagi termasuk Gambar 2.18.(b).



Gambar 2.19. sistem yang dibumikan tanpa impedansi

- a. Gambar tiga fasa
- b. Gambar ekivalen

Kita misalkan juga bahwa generator itu sangat besar sehingga $Z_{1G} = Z_{2G}$ =sangat kecil dan diabaikan.

Untuk gangguan satu fasa ke tanah.

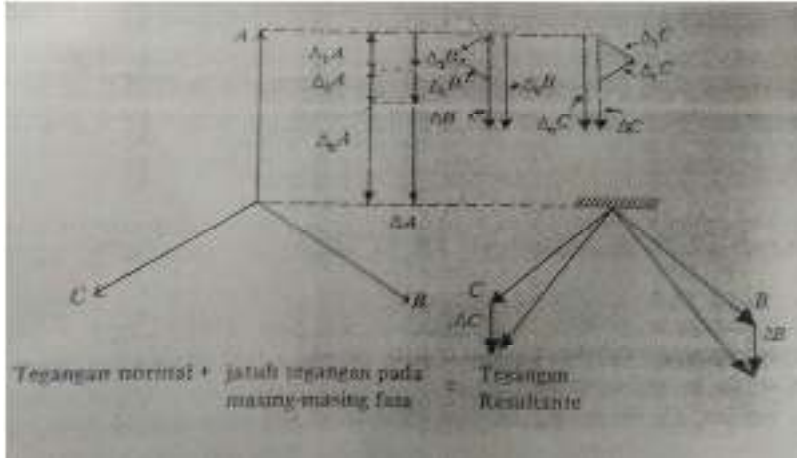
$$I_1 = I_2 = I_0 = \frac{I_{FG}}{3}$$

Bila perubahan fasa A = ΔA maka,

$$\Delta A = \Delta_1 A + \Delta_2 A + \Delta_0 A$$

Karena $Z_{1T} = Z_{2T}$, maka $\Delta_1 A + \Delta_2 A$

Pada fasa yang tidak terganggu (fasa sehat) yaitu fasa B dan C disini Δ_1 berbeda fasa 120° dengan Δ_2 tegangan dapat digambar sebagai berikut.



Gambar 2.20. Tegangan kawat-tanah pada keadaan gambar 2.19.

Sekarang akan diselidiki tegangan pada jepitan-jepitan yang tidak terganggu, yaitu jepitan-jepitan fasa –B dan fasa –C. Pada fasa –A ketiga komponen jatuh tegangan itu adalah sefasa (persentase komponen tahanan dimisalkan sama) tetapi pada kedua fasa lain komponen positif dan komponen negatif berputar dengan sudut sebesar 120° , Gambar 2.19. Dari Gambar 2.19. dapat dihitung jatuh fasa –B dan fasa –C yaitu ΔB dan ΔC .

Karena $\Delta A = \Delta_1 A + \Delta_2 A + \Delta_0 A$, dan bila $\Delta_1 A = \Delta_2 A$, maka $\Delta B = \Delta C = \Delta_0 A - \Delta_1 A$.

Sekarang bila kita lakukan superposisi, maka :

$A + \Delta A = 0$ (tegangan jepitan fasa –A = nol) sedang tegangan pada fasa-fasa yang lain menjadi $B + \Delta B$ dan $\Delta + \Delta C$, dan

$$\begin{aligned} \Delta A &= -\frac{I_{FG}}{3} (Z_1 + Z_2 + Z_0), \text{ dimana } Z_1 = Z_2 \\ &= -\frac{I_{FG}}{3} (2Z_1 + Z_0) \dots\dots\dots 2.10 \end{aligned}$$

Dan tegangan di fasa yang tidakterganggu (fasa sehat) yaitu fasa badan C..

$$\Delta B = \Delta C = -I_{FG} (Z_0 - Z_1)$$

Dan,

$$\Delta = -\frac{I_{FG}}{3} (Z_0 - Z_1) \dots\dots\dots 2.11$$

Maka,

$$\frac{I_{FG}}{3} = \frac{E_{ph}}{(2Z_1 + Z_0)} \dots\dots\dots 2.12$$

Dari persamaan (2.10) jelas kelihatan bahwa tegangan dari fasa-fasa yang tidak terganggu itu tidak sama dengan tegangan fasa netral, tetapi lebih besar dan tergantung dari $Z_0 - Z_1$. Makin besar perbedaan $Z_0 - Z_1$ makin besar tegangan pada fasa-fasa B dan C. Substitusi Persamaan (2.12) dalam persamaan (2.11) diperoleh

$$\Delta = -E_{ph} \frac{Z_0 - Z_1}{(2Z_1 + Z_0)} \dots\dots\dots 2.13$$

Sebutlah :

$$k = Z_0 / Z_1$$

maka,

$$\Delta = -E_{ph} \frac{k-1}{k+2} \dots\dots\dots 2.14$$

Jadi besar tegangan dari fasa-fasa yang tidak terganggu itu tergantung dari faktor $k = Z_0 / Z_1$.

2.8.2. Titik Netral Dibumikan melalui Reaktansi

Pembahasan sistem yang netralnya dibumikan tanpa impedansi membawa kita kepada pemakaian yang lebih umum. Sebenarnya, persamaan (2.14) itu tidak terbatas hanya pada sistem yang netralnya dibumikan tanpa impedansi, tetapi meliputi juga pembumian melalui reaktansi, dan juga melalui kapasitor, dalam hal terakhir ini k berharga negatif. Tegasnya suatu harga reaktansi pembumian antara nol dan tak terhingga.

Persamaan (2.14) diatas hanya memerlukan satu syarat yaitu $Z_1 = Z_2$, dalam mana termasuk impedansi antara titik gangguan dan titik netral. Pada Z_0 termasuk juga impedansi antara titik netral dan tanah. Disamping syarat di atas persentase tahanan dalam Z_1, Z_2 , dan Z_0 dimisalkan sama atau sangat kecil sehingga dapat diabaikan.

Sekarang akan kita tinjau beberapa keadaan :

- a) Titik netral diisolir, $k = \infty$

$$\Delta = -E_{ph}$$

$$B = C = \sqrt{3} E_{ph}$$

- b) Titik netral dibumikan tanpa impedansi.

- i. hubungan transformato delta-wye :

$$Z_{1T} = Z_{2T} = Z_{0T}$$

$$k = \frac{Z_0}{Z_1} = 1$$

$$\Delta = 0$$

$$\text{Jadi, } B = C = E_{ph}$$

ii. hubungan transformator **Y-Y** :

Dalam hal ini k sekitar 10, jadi bila transformator itu dibumikan bukanlah dimaksud untuk membatasi tegangan fasa-fasa yang tidak terganggu.

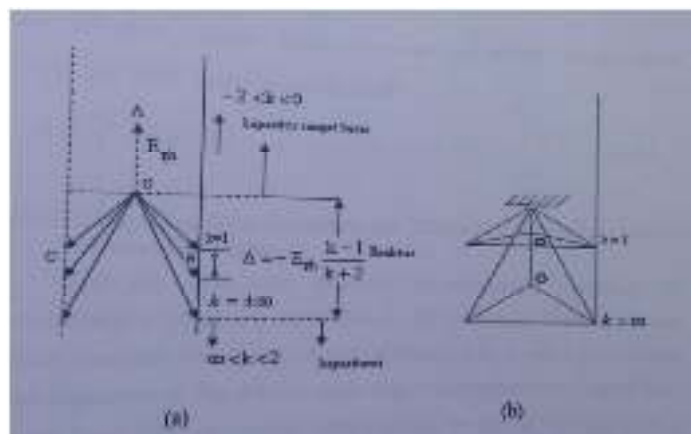
c. Impedansi urutan nol, Z_0 , sama dengan nol.

Dalam hal ini $k = 0$, dan $\Delta = E_{ph}/2$, jadi

$$B = C = \sqrt{3} E_{ph} = 0.866 E_{ph}$$

Keadaan dimana $Z_0 = 0$ diperoleh pada suatu sistem yang disuplai oleh suatu generator yang netralnya langsung dibumikan. Dalam hal ini x_0 mungkin sangat kecil dibandingkan dengan x_1 , sedang x_1 tidak begitu banyak berbeda dengan x_2 .

Daerah dimana $-2 \leq k \leq 0$, merepresentasikan penbunian melalui kapasitor yang sangat besar. Dalam keadaan $k = -2$ terdapat resonansi antara kapasitor pembumian dan $2 X_1$. (dalam praktek hal ini tak pernah ada). Dari gambar 2.19, dapat dilihat bagaimana tegangan fasa-fasa yang tidak terganggu itu berubah dengan perubahan harga k.



Gambar 2.21. Gangguan tanah pada sistem

- a. Pembumian dengan reaktansi, konstruksi tempat kedudukan tegangan untuk harga

$k = Z_0/Z_1$ yang berubah-ubah

b. Segi-segi tegangan pada keadaan $k = 1$ dan $k = \infty$.

Bila antara titik netral dan titik gangguan itu terdapat kawat transmisi harga k makin besar karena X_0 lebih besar dari X_1 untuk kawat transmisi, jadi harga Δ pun diperbesar. Sebaliknya, penambahan hubungan tanah tidak hanya mengurangi harga k (jadi membatasi kenaikan tegangan fasa-fasa yang tidak terganggu), tetapi bersamaa dengan itu memperbesar arus gangguan.

2.8.3. Titik Netral Dibumikan melalui Tahanan

Dari sirkuit ekivalen sama seperti Gambar 2.19. dan Gambar 2.20., tetap dengan $Z_1 = jX_1, Z_2 = jX_2$, dan $Z_0 = 3R_G$ arus gangguan I_{FG} dapat ditentukan dari :

$$E_{ph} = \frac{I_{FG}}{3} (2jX_1 + 3R_G) \text{ dengan } X_1 = X_2 \text{ dan tahanan } R_1 \text{ dan } R_2 \text{ diabaikan.}$$

Jatuh tegangan pada tiap fasa dari kedua fasa yang tidak terganggu, analog dengan Gambar 2.14, diperoleh dengan menjumlahkan $I_{FG} \cdot R_G$ dengan $j \left(\frac{I_{FG}}{3}\right) X_1$ dan $j \left(\frac{I_{FG}}{3}\right) X_2$ setelah kedua komponen ini diputar dengan sudut $\pm 120^\circ$ dan $\pm 120^\circ$ jatuh tegangan itu adalah :

$$\Delta = \frac{-I_{FG}}{3} (3R_G - jX_1) \dots\dots\dots 2.15$$

2.8.4. Titik Netral Tidak Dibumiukan dan Titik Netral dibumikan dengan Kumparan Petersen.

Istilah titik netral tidak dibumikan itu sebenarnya meragukan. Ini membayangkan kepada kita seolah-olah X_0 tak berhingga. Tetapi pada suatu sistem yang tidak dibumikan kombinasi reaktansi-reaktansi urutan nol diberikan oleh kapasitansi per fasa terhadap tanah. Jadi X_0 mempunyai harga negatif yang sangat besar. Dalam hal tersebut harga k adalah -40 dan tak terhingga. Jadi Δ negatif dan harganya sekitar $150\% E_{ph}$.

Dalam hal pembumian dengan kimparan Petersen atau sering disebut “resonant grounding” harga X_0 dapat diatur sampai tak terhingg. Bila harga k tak terhingga, maka $\Delta = -E_{ph}$. Jadi tegangan dari fasa-fasa yang tidak terganggu itu lebih besar dari tegangan jala-jala, E_{L-L} .

2.8.5. Titik netral dibumikan secara Efektif dan Faktor Pembumian

Suatu sistem atau bagian dari sistem dikatakan dibumikan secara efektif apabila untuk tiap-tiap titik pada sistem itu atau untuk sebagian tertentu dari sistem itu diperoleh harga-harga $X_0/X_1 \leq 3$ dan $R_0/X_1 \leq 1$ untuk setiap macam keadaan kerja sistem itu.

Jadi bila seluruh sistem itu tidak efektif dibumikan, bagian tertentu dari sistem itu dapat dikatakan efektif bila memenuhi ketentuan-ketentuan di atas. Jadi pembumian tanpa impedansi dan pembumian dengan reaktansi yang rendah “dapat” termasuk pembumian efektif.

Dalam beberapa hal diinginkan menyelipkan impedansi antar netral dan tanah supaya arus gangguan pada sistem-sistem yang sering kena gangguan dibatasi besarnya. Pemilihan pembumian tanpa impedansi, pembumian dengan reaktansi dan pembumian dengan tahanan baru dapat ditentukan apabila untung-rugi dari masing-masing macam pembumian itu dipelajari secara terperinci, dan disesuaikan dengan keadaan sistem yang dihadapi.

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

3.1. Waktu dan Tempat

Penelitian ini dilakukan kurang lebih selama dua minggu yang dimulai dari tanggal 28 Juni 2019 sampai dengan 12 Juli 2019, yang berada di lokasi Gardu Induk Tanjung Morawa yang beralamat di Jl. Medan – Tebing Tinggi, Tj.Morawa A, Tj.Morawa, Kabupaten Deli Serdang, Sumatera Utara.

3.2. Instrumen Penelitian

Dalam penelitian ini alat yang digunakan selama penelitian adalah sebagai berikut :

- 1) Earth Tester : 1 Buah
- 2) Pemaku Tanah : 2 Buah
- 3) Kabel hijau + 5 M beserta Test Lead dan Clip : 1 Buah
- 4) Kabel Kuning + 10 M beserta Test Lead dan Clip : 1 Buah
- 5) Kabel Merah + 15 M beserta Test Lead dan Clip : 1 Buah

3.2.1. Earth Tester

Earth Tester adalah alat untuk mengukur nilai dari resistansi dari grounding, besarnya tahanan tanah sangat penting untuk diketahui sebelum dilakukan pembedaan dalam sistem pengamanan dalam instalasi listrik.

Alat ukur ini menggunakan digital pada segmen – segmen, sehingga dengan mudah menyimpan data yang terukur. Perancangan alat ukur tahanan tanah digital ini menggunakan tiga batang elektroda yang ditanahkan yaitu elektroda E (Earth), elektroda P (Potensial), dan elektroda C (Curren).

Tabel 3.1 Spesifikasi Alat Ukur

Nama Alat	Earth tester
Model	DET4TR2
Merk	MEGGER
Tipe	KYORITSU

3.2.2. Kabel Penghubung Elektroda Batang

Kabel penghubung elektroda batang ditunjukkan oleh gambar 3.2 biasanya digunakan untuk menjepit elektroda batang yang akan di ukur menggunakan earth tester, untuk panjang kabel ini sendiri lebih pendek dari panjang kabel penghubung lainnya, dan kabel ini biasanya disebut dengan anoda.



Gambar 3.1 Kabel penghubung elektroda batang

3.2.3. Kabel Penghubung Elektroda Bantu 1

Kabel penghubung elektroda bantu 1 ditunjukkan oleh gambar 3.3 panjangnya 2 kali panjang dari kabel penghubung elektroda bantu sebelumnya dan biasanya disebut kabel katoda.



Gambar 3.2 Kabel penghubung elektroda bantu 1

3.2.4. Kabel Penghubung Elektroda Bantu 2

Kabel penghubung elektroda bantu 2 ditunjukkan oleh gambar 3.4 biasanya tempatnya diantara kedua elektroda batang dan elektroda bantu 1, panjang kabel penghubung ini lebih panjang dari kabel penghubung elektroda batang dan kabel ini disebut dengan kabel katoda.



Gambar 3.3 Kabel penghubung elektroda bantu 2

3.2.5. Elektroda Bantu

Elektroda bantu berfungsi sebagai pembanding dari elektroda utama untuk mendapatkan nilai tahanan tanah, ditunjukkan pada gambar 3.5.

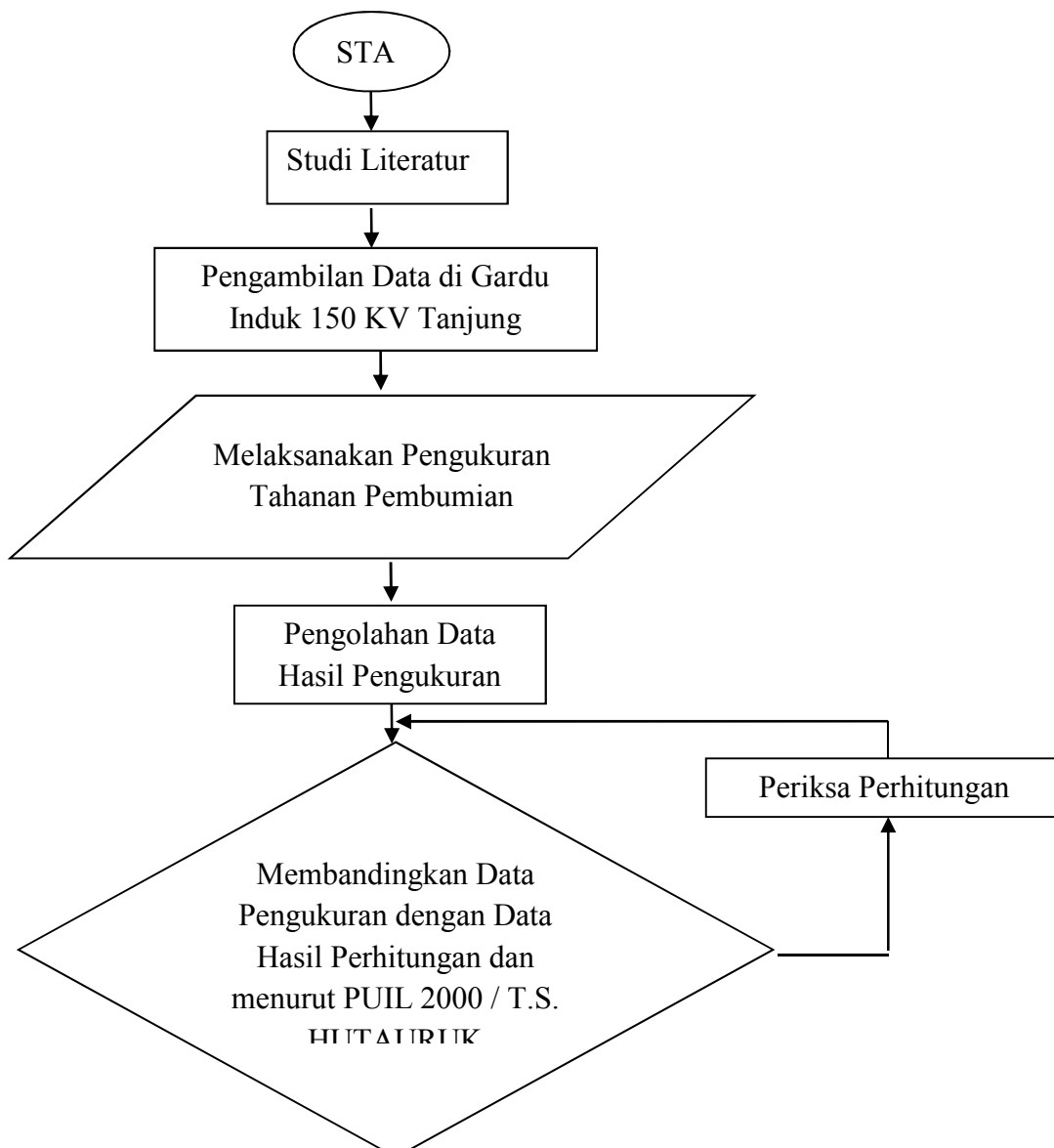


Gambar 3.4 Elektroda Bantu

3.3. Langkah – langkah Penelitian

Terdapat beberapa metode yang digunakan proses pengumpulan data saat penelitian, antara lain :

1. Metode wawancara dan diskusi, metode seperti ini dilakukan dengan memperoleh data berdasarkan hasil wawancara lapangan dengan supervisor, pembimbing lapangan serta rekan kerja lainnya.
2. Metode studi literatur dan internet, yaitu pengumpulan data dengan cara membaca sumber – sumber lain baik dari buku – buku maupun sumber terpercaya lainnya dari internet yang berhubungan dengan penelitian serta perolehan data.



Dalam penyusunan data sheet ini, lokasi/outgoing merupakan alat/komponen yang menjadi objek pengukuran dimana tempat/letak sistem grid ada. R,S,T merupakan letak titik pengukuran sistem grid yang pada gardu induk tanjung morawa.

3.5. Analisis Data

Dalam penelitian ini penulis juga melakukan analisis data dari sisi teori. Langkah-langkah yang dilakukan adalah :

3.5.1. Arus Fibrilasi

Besarnya arus yang mengalir pada tubuh manusia dimana arus listrik dapat menyebabkan jantung mulai fibrilasi dapat dihitung dengan rumus 2.3

$$I_k = \frac{0,116}{\sqrt{t}} \dots\dots\dots 2.3$$

3.5.2. Arus Gangguan

Besar arus gangguan yang terjadi pada gardu induk Tanjung Morawa 150 KV adalah sebesar 3000 Ampere.

3.5.3. Tegangan Sentuh yang Diizinkan (E_s)

Dengan menggunakan persamaa 2.4 maka tegangan sentuh yang diizinkan adalah sebagai berikut :

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

3.5.4. Tegangan Langkah yang Diizinkan (E_l)

Dari persamaan 2.5 maka diperoleh besar tegangan langkah yang diizinkan sebagai berikut :

$$E_s = I_k (R_k + 6 \rho_s)$$

3.5.5. Tegangan Mesh atau Tegangan Sentuh Maksimum Sebenarnya (E_{ms})

Besar tegangan mesh atau tegangan sentuh dapat dicari dengan persamaan 2.6. sebagai berikut :

$$E_m = k_m k_i \rho \frac{I}{L}$$

Dimana :

$$k_m = \frac{1}{2\pi} \ln \frac{D^2}{16hd} + \frac{1}{\pi} \ln \left(\frac{3}{4} \times \frac{5}{6} \times \frac{7}{8} \times \frac{9}{10} \times \dots \times \frac{2(n-2)+1}{2(n-2)+2} \right)$$

3.5.6 Tegangan Langkah maksimum Sebenarnya

Besar tegangan langkah maksimum sebenarnya dapat dicari dengan persamaan 2.7. sebagai berikut :

$$E_i = k_i k_i \rho \frac{I}{L}$$

3.5.7. Tegangan Pindah

Besar tegangan pindah dapat dicari dengan persamaan 2.8 sebagai berikut :

$$E_{\text{pindah}} = I \cdot R_0 \dots \dots \dots 2.8$$

Dengan anggapan $I_k \ll I$ sebab $\frac{R_k}{2} + R_t \gg R_0$ dan

$$R_0 = \frac{\rho}{4r} + \frac{\rho}{L} \dots \dots \dots 2.9$$

Dan $r = \sqrt{\frac{A}{\pi}}$