

**EVALUASI TAHANAN PENTANAHAN KAKI MENARA
TRANSMISI SALURAN UDARA TEGANGAN EKSTRA
TINGGI (SUTET) 500KV UNGARAN-PEMALANG 1**

LAPORAN TUGAS AKHIR

Laporan di susun untuk memenuhi salah satu syarat memperoleh gelar S1 pada
Prodi Teknik Elektro Fakultas Teknologi Industri

Universitas Islam Sultan Agung



Disusun oleh :

ARINA IZZATIN NISA'

NIM : 30601800007

**PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
UNIVERSITAS ISLAM SULTAN AGUNG SEMARANG**

2022

FINAL PROJECT

**EVALUATION OF EXTRA HIGH VOLTAGE (SUTET) 500KV
EXTRA HIGH VOLTAGE TRANSMISSION TOWER
FOOTWEAR RESISTANCE UNGARAN-PEMALANG 1**

Proposed was prepared to fulfill one of the requirements for obtaining an undergraduate degree in the Electrical Engineering Study Program, Faculty of Industrial Technology Sultan Agung Islamic University



Arranged by :

ARINA IZZATIN NISA'

NIM : 30601800007

**DEPARTEMENT OF ELECTRICAL ENGINEERING
FACULTY OF INDUSTRIAL TECHNOLOGY
UNIVERSITY ISLAM SULTAN AGUNG SEMARANG**

2022

LEMBAR PENGESAHAN PEMBIMBING

Laporan Tugas Akhir dengan judul "EVALUASI TAHANAN PENTANAHAN KAKI MENARA TRANSMISI SALURAN UDARA TEGANGAN EKSTRA TINGGI (SUTET) 500KV UNGARAN-PEMALANG I" ini disusun oleh :

Nama : Arina Izzatin Nisa'

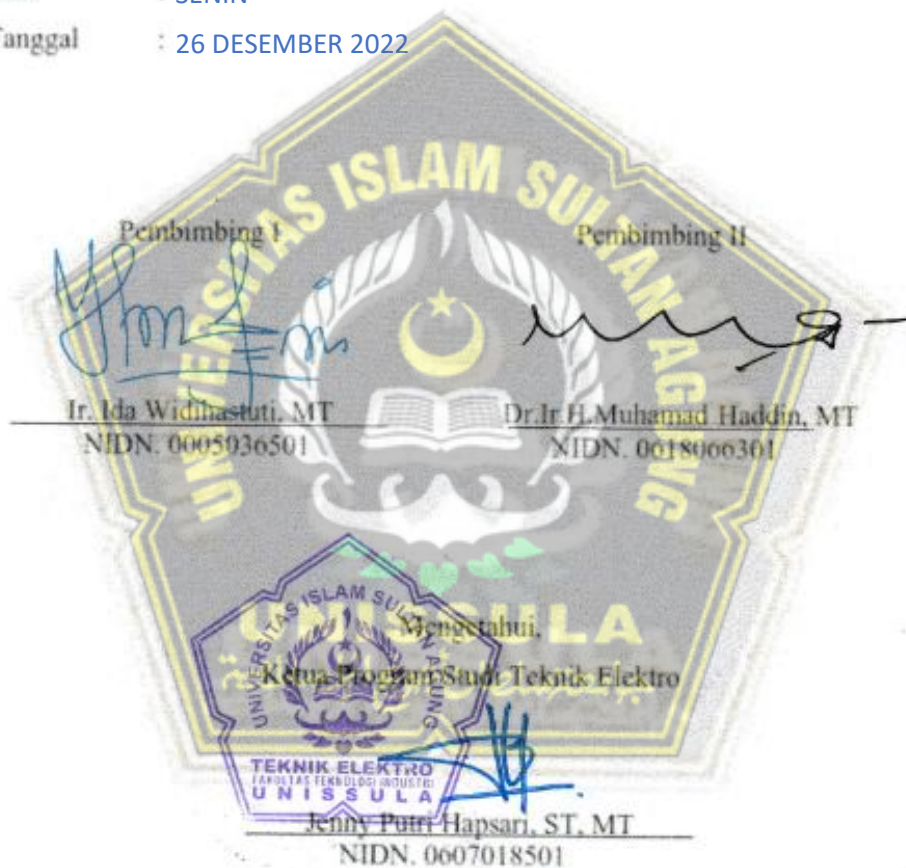
NIM : 30601800007

Program Studi : Teknik Elektro

Telah disahkan oleh dosen pembimbing pada :

Hari : SENIN

Tanggal : 26 DESEMBER 2022



LEMBAR PENGESAHAN PENGUJI

Laporan Tugas Akhir dengan judul “EVALUASI TAHANAN PENTANAHAN KAKI MENARA TRANSMISI SALURAN UDARA TEGANGAN EKSTRA TINGGI (SUTET) 500KV UNGARAN-PEMALANG I” ini telah dipertahankan didepan dosen penguji Tugas Akhir pada :

Hari : SENIN

Tanggal : 26 DESEMBER 2022

TIM PENGUJI

Anggota I



Ir. Ida Widiastuti, MT
NIDN. 0005036501

Anggota II



Dr. Ir. H. Muhamad Haddin, MT
NIDN. 0018066301

Ketua Penguji



Dr. Ir. Agus Adhi Nugroho, MT
NIDN. 0628086501

SURAT PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR

Yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama : ARINA IZZATIN NISA'

Nim : 30601800007

Fakultas : TEKNOLOGI INDUSTRI

Program studi : S1 TEKNIK ELEKTRO

Dengan ini menyatakan bahwa Tugas Akhir saya buat dalam rangka menyelesaikan Pendidikan Strata Satu (S1) **Teknik Elektro di Fakultas Teknologi Industri UNISSULA Semarang** dengan judul **“EVALUASI TAHANAN PENTANAHAN KAKI MENARA TRANSMISI SALURAN UDARA TEGANGAN EKSTRA TINGGI (SUTET) 500 kV UNGARAN-PEMALANG 1”**, adalah asli (orisinal) dan bukan menjiplak (plagiat) dan belum pernah diterbitkan/dipublikasikan dimanapun dalam bentuk apapun baik sebagian atau keseluruhan, kecuali yang secara tertulis diacu dalam naskah ini dan disebutkan dalam daftar pustaka.

Demikian surat pernyataan ini saya buat dengan sadar dan penuh tanggung jawab. Apabila di kemudian hari ternyata terbukti bahwa Karya Tugas Akhir tersebut adalah hasil karya orang lain atau pihak lain, maka saya bersedia dikenakan sanksi akademis.

Ungaran, 20 Desember 2022

Yang Menyatakan

Mahasiswa

Arina Izzatin Nisa'
NIM. 30601800007

PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI KARYA ILMIAH

Saya yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : Arina Izzatin Nisa'

NIM : 30601800007

Program studi : Teknik Elektro

Fakultas : Teknologi Industri

Alamat Asal : Siroto Candirejo RT4/RW2 Candirejo, Kec. Ungaran Barat, Kab. Semarang

No.HP / Email : 081904865390 / arina.izzatin@std.unissula.ac.id

Dengan ini menyatakan Karya Ilmiah berupa Tugas Akhir dengan Judul:

“EVALUASI TAHANAN PENTANAHAN KAKI MENARA TRANSMISI SALURAN UDARA TEGANGAN EKSTRA TINGGI (SUTET) 500KV UNGARAN-PEMALANG 1”

Menyetujui menjadi hak milik Universitas Islam Sultan Agung serta memberikan Hak bebas Royalti Non_Eksklusif untuk disimpan, dialihmediakan, dikelola dan pangkalan data dan dipublikasikan diinternet dan media lain untuk kepentingan akademis selama tetap menyantumkan nama penulis sebagai hak cipta. Pernyataan ini saya buat dengan sungguh-sungguh. Apabila dikemudian hari terbukti ada pelanggaran Hak Cipta/Plagiatisme dalam karya ilmiah ini, maka segala bentuk tuntutan hukum yang timbul akan saya tanggung secara pribadi tanpa melibatkan Universitas Islam Sultan Agung.

Ungaran, 20 Desember 2022

Yang Menyatakan

Mahasiswa



Arina Izzatin Nisa'

NIM. 30601800007

PERSEMBAHAN

Pertama,

Tugas Akhir ini akan saya persembahkan kepada kedua orang tua saya yang saya cintai Alm.Bapak Agus Supriyanto dan Ibu Rochayati yang sudah membesarkan, mendoakan, serta selalu mendukung dalam menyelesaikan studi saya hingga saat ini. Juga kakak-kakak saya yang selalu menyemangati dan selalu memberikan fasilitas yang saya butuhkan, merupakan penunjang untuk dapat menyelesaikan perkuliahan.

Kedua,

Untuk diri saya sendiri terimakasih sudah berjuang, sudah bersemangat dan sudah kuat menyelesaikan studi perkuliahan selama ini dengan baik.

Ketiga,

Untuk Dosen Pembimbing dan seluruh Dosen Teknik Elektro yang selalu memberikan ilmu, saran dan bimbingannya.

Keempat,

Untuk teman – teman Teknik Elektro 2018 yang sudah membantu serta selalu memberikan dukungan.

MOTTO

Sesungguhnya Allah tidak akan mengubah keadaan suatu kaum, sebelum mereka
mengubah keadaan diri

~QS Ar-Rad 11~

Dan ketahuilah, sesungguhnya kemenangan itu beriringan dengan kesabaran.
Jalan keluar beriringan dengan kesukaran. Dan sesudah kesulitan, pasti akan
datang kemudahan

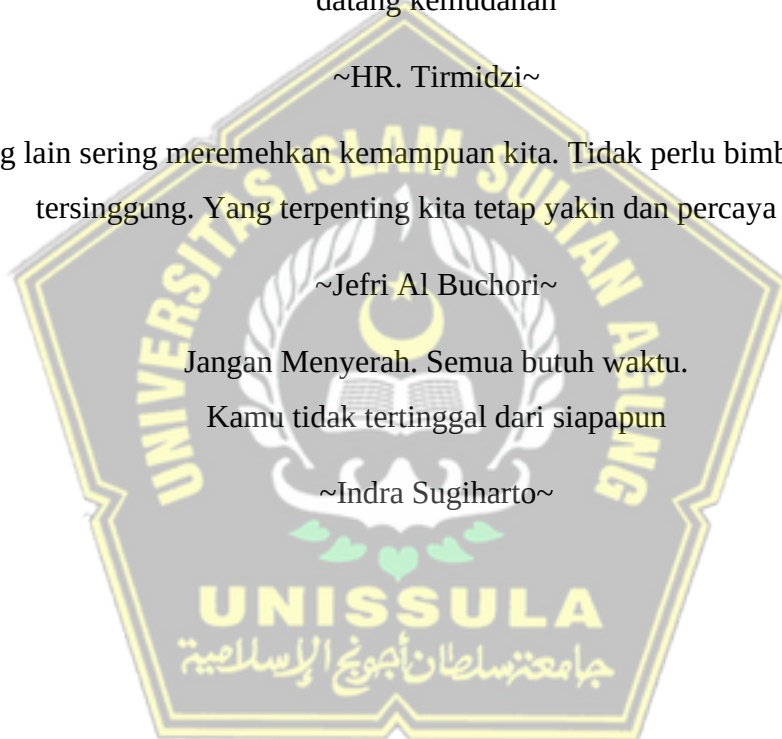
~HR. Tirmidzi~

Orang lain sering meremehkan kemampuan kita. Tidak perlu bimbang apalagi
tersinggung. Yang terpenting kita tetap yakin dan percaya diri.

~Jefri Al Buchori~

Jangan Menyerah. Semua butuh waktu.
Kamu tidak tertinggal dari siapapun

~Indra Sugiharto~



KATA PENGANTAR

Alhamdulillah segala puji bagi Allah SWT yang telah memberikan begitu banyak Taufik, Rahmat dan Hidayah-Nya kepada kita, sehingga peneliti dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini dengan baik dan lancar. Penulisan Tugas Akhir ini adalah salah satu syarat yang menjadi kewajiban kita untuk meraih Gelar Sarjana (S1) Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknologi Industri Universitas Islam Sultan Agung Semarang, dengan judul Tugas Akhir yang peneliti ambil yaitu “Evaluasi Tahanan Pentanahan Kaki Menara Transmisi Saluran Udara Tegangan Ekstra Tinggi (SUTET) 500 kV Ungaran-Pemalang 1”.

Selesainya Tugas Akhir ini tidak lepas dari bantuan bimbingan serta doa dari berbagai pihak yang telah membantu dalam pembuatan karya ini. Oleh karena itu penulis mengucapkan banyak terimakasih kepada :

1. Alm.Bapak, Ibu serta keluarga yang selalu mendoakan, menyemangati dan mendukung dalam proses penyelesaian Tugas Akhir.
2. Ibu Dr. Hj. Novi Marlyana, ST, MT Selaku Dekan Fakultas Teknologi Industri Universitas Islam Sultan Agung Semarang
3. Ibu Jenny Putri Hapsari, ST,MT Selaku Ketua Jurusan Teknik Elektro Universitas Islam Sultan Agung Semarang
4. Ibu Ir. Ida Widiastuti, MT Selaku Dosen Pembimbing pertama yang telah meluangkan waktu selama proses bimbingan
5. Bapak Dr. Ir. H. Muhamad Haddin, MT Selaku Dosen Pembimbing kedua yang telah meluangkan waktu selama proses bimbingan
6. Supervisor dan pembimbing lapangan PT. PLN (Persero) ULTG Semarang yang telah meluangkan waktu selama pengambilan data
7. Teman-teman Jurusan Teknik Elektro yang telah memberikan semangat kepada peneliti hingga Tugas Akhir ini dapat selesai
8. Semua pihak yang telah membantu hingga terselesainya pembuatan tugas akhir maupun dalam penyusunan Tugas Akhir yang tidak dapat disebutkan satu persatu

Dalam pembuatan Laporan Tugas Akhir penulis menyadari bahwa masih jauh dari kata sempurna karena masih keterbatasan ilmu, pengalaman dan kemampuan peneliti. Oleh itu, saran serta kritik yang membangun dari pembaca akan menjadi masukan yang sangat berharga bagi peneliti. Semoga Tugas Akhir ini dapat bermanfaat bagi kita semua. Aamiin.

Ungaran,

Penulis



DAFTAR ISI

LAPORAN TUGAS AKHIR.....	i
LEMBAR PENGESAHAN PEMBIMBING	ii
LEMBAR PENGESAHAN PENGUJI.....	iii
SURAT PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR.....	iv
PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI KARYA ILMIAH	v
PERSEMBAHAN.....	vi
MOTTO	vii
KATA PENGANTAR.....	viii
DAFTAR ISI.....	x
DAFTAR TABEL	xii
DAFTAR GAMBAR.....	xiii
DAFTAR GRAFIK	xiv
ABSTRAK	xv
ABSTRAC.....	xvi
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Perumusan Masalah	3
1.3 Pembatasan Masalah	3
1.4 Tujuan	3
1.5 Manfaat	3
1.6 Sistematika Penelitian.....	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI	5
2.1 Tinjauan Pustaka	5
2.2 Dasar Teori.....	6
2.2.1 Sistem Tenaga Listrik	6
2.2.2 Transmisi.....	7
2.2.3 Komponen SUTET	7
2.2.4 Jenis – Jenis Sistem Penantaran.....	16
2.2.5 Komponen Pentanahan.....	18
2.2.6 Tahanan Jenis Tanah	27
2.2.7 Pengukuran Tahanan Jenis Tanah	29

2.2.8 Tahanan Kaki Menara	29
2.2.9 Proteksi SUTET	31
2.2.10 Surja Petir	32
2.2.11 Mekanisme Sambaran Petir	34
BAB III METODE PENELITIAN	36
3.1 Model Penelitian	36
3.2 Objek Penelitian	37
3.3 Alat Dan Peralatan Dalam Penelitian	38
3.4 Prosedur	39
3.5 Tahapan Penelitian	41
BAB IV HASIL PEMBAHASAN	43
4.1 Hasil Penelitian	43
4.2 Pengujian Tahanan Pentanahan	43
4.3 Analisa Perhitungan Tahanan Kaki Menara 3 Batang Elektroda (<i>Multiple Ground Rod</i>)	44
4.4 Analisa Perhitungan Nilai Tahanan Kaki Menara 4 Batang Elektroda	45
4.5 Hasil Analisa Pengukuran dengan Perhitungan	47
4.6 Analisa Perbandingan Pengukuran, Perhitungan, dan Standar	48
4.6.1 Perbandingan Hasil Pengukuran Dengan Standar	48
4.6.2 Perbandingan Hasil Perhitungan Dengan Standar	49
4.6.3 Perbandingan Hasil Perbaikan Dengan Standar	49
BAB V PENUTUP	50
5.1 Kesimpulan	50
5.2 Saran	50
DAFTAR PUSTAKA	51
LAMPIRAN	53

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Nilai Rata - Rata Resistansi Jenis Tanah.....	28
Tabel 2.2	Nilai Rata - Rata dari Resistansi Pembumian untuk Elektroda Bumi.....	28
Tabel 3.1	Spesifikasi Digital Earth Tester Kyoritsu KEW 4105A.....	39
Tabel 3.2	Data Parameter Menara Transmisi SUTET 500 kV Ungaran–Pemalang 1	40
Tabel 3.3	Data Pentanahan Menara SUTET 500 kV Ungaran-Pemalang 1	40
Tabel 3.4	Pengujian Tahanan Pembumian Menara SUTET 500 kV Ungaran-Pemalang 1... 41	
Tabel 4.1	Nilai Tahanan Pentanahan Menara SUTET 500 kV Ungaran-Pemalang 1 Yang Melebihi Nilai Standar	44
Tabel 4.2	Hasil Perhitungan Nilai Tahanan yang Menggunakan 3 Batang Elektroda.....	45
Tabel 4.3	Hasil Perhitungan Nilai Tahanan yang Menggunakan 4 Batang Elektroda.....	46
Tabel 4.4	Hasil Pengukuran Dengan Perhitungan.....	47
Tabel 4.5	Perbandingan Hasil Pengukuran Dengan Standar	48
Tabel 4.6	Perbandingan Hasil Perhitungan 3 Batang Elektroda Dengan Standar.....	49
Tabel 4.7	Perbandingan Hasil Perhitungan 4 Batang Elektroda Dengan Standar.....	49



DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Diagram Sistem Tenaga Listrik	6
Gambar 2.2 Mur dan Baut Menara	8
Gambar 2.3 Pondasi Normal	10
Gambar 2.4 Pondasi Spesial	10
Gambar 2.5 Halaman Menara.....	10
Gambar 2.6 Leg Menara	11
Gambar 2.7 Jenis Kawat Penghantar	12
Gambar 2.8 Sistem Pentanahan	15
Gambar 2.9 Sistem TN-S	16
Gambar 2.10 Sistem TN-C	17
Gambar 2.11 Sistem TN-C-S	17
Gambar 2.12 Sistem TT	18
Gambar 2.13 Sistem IT	18
Gambar 2.14 Elektroda Pentanahan Barang (Rod)	21
Gambar 2.15 Aliran Tegangan Pada Satu Batang Elektroda.....	21
Gambar 2.16 Aliran Tegangan Pada Dua Batang Elektroda.....	21
Gambar 2.17 Satu Batang Elektroda Tegak Lurus Ke Dalam Tanah.....	22
Gambar 2.18 Dua Batang Elektroda Ditanam Tegak Lurus Ke Dalam Tanah .	24
Gambar 2.19 Beberapa Batang Elektroda Tegak Lurus Ke Dalam Tanah.....	24
Gambar 2.20 Elektroda Pentanahan Pita	25
Gambar 2.21 Elektroda Pentanahan Pelat	26
Gambar 2.22 Rangkaian pengukuran Tahanan Jenis Tanah Metode Empat Titik	29
Gambar 2.23 Rangkaian Pengukuran Tahanan Jenis Tanah Metode Tiga Titik .	29
Gambar 2.24 Penempatan Elektroda Dengan Jumlah Tertentu.....	31
Gambar 2.25 Proses Terjadinya Surja Petir.....	33
Gambar 2.26 Bentuk Standar Gelombang Surja Petir.....	33
Gambar 3.1 Desain Layout Sistem Pentanahan SUTET 500 kV Ungaran - Pemalang 1.....	36
Gambar 3.2 Model Pengujian Sistem Pentanahan SUTET 500 kV Ungaran - Pemalang 1.....	37
Gambar 3.3 Objek Penelitian Sistem Pentanahan SUTET 500 kV Ungaran - Pemalang 1.....	37
Gambar 3.4 Earth Tester Kyoritsu Model 4105A	38
Gambar 3.5 Flowchart Penelitian	42

DAFTAR GRAFIK

Grafik 4.1 Hasil Pengukuran dengan Perhitungan Resistansi Pentanahan 47



ABSTRAK

Proses penyaluran energi listrik dari sumber tenaga hingga dapat dikonsumsi oleh konsumen diperlukan suatu sistem tenaga listrik. Penyaluran energi listrik tersebut disalurkan melalui sistem transmisi yaitu saluran udara tegangan ekstra tinggi (SUTET) 500 kV dan saluran udara tegangan tinggi (SUTT) 150 kV. Pada saluran transmisi sering terjadinya gangguan surja petir dan switching. Akibat dari gangguan surja petir dan switching tersebut yaitu terdapat adanya kerusakan tahanan kaki menara yang melebihi standar. Akibat dari gangguan surja petir dan gangguan switching tersebut yaitu terdapat adanya kerusakan tahanan kaki menara yang melebihi standar. Solusi untuk meminimalisir gangguan tersebut maka diperlukan sebuah sistem proteksi terhadap surja petir. Yang terdiri dari kawat OGW (Overhead Ground Wire), Rod Gap, Lightning Arrester dan sistem pentanahan (Grounding) menara tower.

Fokus penelitian ini mengenai evaluasi tahanan pentanahan kaki menara transmisi saluran udara tegangan ekstra tinggi (SUTET) 500 kV Ungaran – Pemalang 1, dengan jumlah tower sebanyak 170 tower. Model pengujian tahanan pentanahan kaki menara menggunakan model Multiple Ground Rod, dimana tiga batang elektroda di benamkan didalam tanah secara paralel. Parameter data yang didapatkan antaranya resistansi jenis tanah, panjang konduktor, diameter konduktor, grounding rod, jarak antar konduktor, dan jarak kawat konduktor. Pengujian tahanan pentanahan yang digunakan menggunakan Grounding Rod yang ditanam ditengah dengan kedalaman tertentu, serta diukur dengan alat Earth Tester Model 4105A. Hasil pengujian akan dihitung menggunakan persamaan tahanan pentanahan multiple ground (tiga batang pentanahan), yang selanjutnya akan dibandingkan dengan nilai standar pentanahan 10Ω .

Hasil penelitian yang diperoleh dari 170 tower SUTET 500 kV, 3 (tiga) tower diantaranya memiliki nilai pentanahan yang melebihi nilai standar 10Ω akan tetapi kaki menara nomor 444 dengan hasil pengujian $Leg D = 86.9 \Omega$, memiliki nilai tahanan yang sangat tinggi. Sehingga dilakukan analisa perhitungan 3 (tiga) batang elektroda yang ditanam ke dalam tanah dengan hasil 3.07Ω dengan jarak batang 3 m, 2.83Ω jarak batang 4 m dan yang terakhir pada jarak batang 5 m sebesar 2.7Ω . Dan analisa perhitungan 4 (empat) batang elektroda yang ditanam/dibenamkan ditengah. Dengan hasil 1.78Ω pada jarak antar batang 3 meter, 1.605Ω jarak antar batang 4 meter, 1.47Ω jarak antar batang 5 meter.

Kata Kunci : Tahanan Kaki Menara, Transmisi, SUTET

ABSTRAC

The distribution of electrical energy from the power source until it can be consumed by consumers requires an electric power system. The distribution of electrical energy is channeled through the transmission system, namely a 500 kV extra-high voltage air line (SUTET) and a 150 kV high voltage air line (SUTT). In the transmission line, there is often a disturbance of lightning surge and switching. The result of the lightning and switching surge interference is that there is damage to the tower foot resistance that exceeds the standard. The result of lightning surge interference and switching interference is that there is damage to the tower foot resistance that exceeds the standard. The solution to minimize the disturbance requires a protection system against lightning surges. Which consists of OGW (Overhead Ground Wire) wire, Rod Gap, Lightning Arrester and tower tower grounding system.

The focus of this study is on the evaluation of the grounding resistance of the legs of the 500 kV Ungaran – Pemalang 1 extra high voltage air line transmission tower (SUTET), with a total of 170 towers. The tower foot grounding resistance testing model uses the Multiple Ground Rod model, where three electrode rods are immersed in the ground in parallel. The data parameters obtained include ground type resistance, conductor length, conductor diameter, grounding rod, distance between conductors, and conductor wire distance. Grounding resistance testing used using a Grounding Rod planted in the ground with a certain depth, and measured with the Earth Tester Model 4105A tool. The test results will be calculated using the multiple ground resistance equation (three grounding rods), which will then be compared with a 10 Ω grounding standard value.

The results of the study obtained from 170 SUTET towers of 500 kV, 3 (three) towers of which have a grounding value that exceeds the standard value of 10 Ω but tower foot number 444 with test results Leg D = 86.9 Ω , has a very high resistance value. So that the calculation analysis of 3 (three) electrode rods planted into the ground with a yield of 3.07 Ω with a rod spacing of 3 m, 2.83 Ω a rod distance of 4 m and the last one at a stem distance of 5 m of 2.7 Ω . And analyze the calculation of 4 (four) electrode rods that are planted / immersed in the ground. With a result of 1.78 Ω at a distance between bars of 3 meters, 1,605 Ω a distance between rods of 4 meters, 1.47 Ω a distance between trunks of 5 meters.

Keywords : Tower Foot Resistance, Transmission, SUTET

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Proses penyaluran energi listrik dari sumber tenaga hingga dapat dikonsumsi oleh konsumen diperlukan suatu sistem tenaga listrik. Penyaluran energi listrik memiliki beberapa proses ataupun tahapan agar dapat disalurkan sampai konsumen. Tahapan dimulai dari sistem pembangkit yang bertujuan untuk membangkitkan energi listrik, sistem transmisi sebagai penyalur tenaga listrik dan sistem distribusi sebagai distributor energi listrik untuk konsumen. Sistem pembangkit terdiri dari (PLTU, PLTG, PLTGU, PLTD dll) yang nantinya akan membangkitkan energi listrik. Kemudian energi listrik akan didistribusikan ke konsumen melalui saluran transmisi udara atau transmisi saluran bawah tanah. Namun di Indonesia sendiri pada umumnya menggunakan saluran transmisi udara.

Saluran transmisi udara di Indonesia menggunakan saluran udara tegangan ekstra tinggi (SUTET) 500 kV dan saluran udara tegangan tinggi (SUTT) 150 kV. SUTET merupakan saluran tenaga listrik yang menggunakan kawat penghantar di udara yang memiliki tegangan di atas 245 kV. Sedangkan SUTT tidak jauh berbeda dengan SUTET hanya saja memiliki tegangan dari 35 kV sampai 245 kV [1].

Permasalahan yang terjadi pada SUTET 500 kV Ungaran-Pemalang 1 adalah terdapat adanya kerusakan tahanan kaki menara yang melebihi nilai standar kelistrikan. Hal ini terjadi akibat adanya gangguan dari eksternal dan internal. Gangguan tersebut yaitu gangguan eksternal surja petir dan gangguan internal pada switching. Surja petir merupakan peristiwa perambatan gelombang atau arus pada saluran transmisi akibat adanya penyaluran energi secara cepat dalam waktu singkat yang diakibatkan adanya sambaran petir. Indonesia merupakan negara tropis yang memiliki curah hujan yang cukup tinggi sehingga rentan dengan gangguan sambaran petir, bahkan Indonesia sendiri bisa dikatakan dengan negara yang memiliki frekuensi sambaran petir yang cukup tinggi. Ketika salah satu bagian dari sistem transmisi mengalami gangguan atau tegangan lebih maka akan mengakibatkan

adanya arus gangguan yang besar, maupun mengakibatkan gelombang berjalan serta kerusakan peralatan isolasi apabila magnitude tegangannya melebihi BIL (Basic Insulation Level) dan dapat merusak peralatan pada gardu induk serta membahayakan manusia.

Solusi untuk permasalahan tersebut yaitu dengan menambahkan sistem proteksi terhadap surja petir. Yang terdiri dari kawat OGW (*Overhead Ground Wire*), *Rod Gap*, *Lightning Arrester* dan sistem pentanahan (*Grounding*) menara tower.

Sistem pentanahan (*Grounding*) merupakan suatu alat proteksi yang berguna untuk mengamankan juga memperkecil resiko pengguna tenaga listrik pada bahaya tegangan sentuh [2]. Sistem pentanahan kaki menara transmisi digunakan sebagai pelindung dari kawat fasa terhadap sambaran langsung petir dengan cara meletakkan kawat tanah diatas kawat fasa, sehingga sambaran petir yang mengenai kawat tanah akan menyebar melalui impedansi surja ke tanah. Resistansi tanah yang cukup tinggi menyebabkan gelombang arus pantul yang melebihi tegangan tembus isolator pada tiang transmisi, selanjutnya arus petir mengalir ke kawat fasa dan menimbulkan kerusakan.

Sistem pentanahan pada jalur transmisi Saluran udara Ekstra Tinggi (SUTET) 500 kV umumnya menggunakan sistem pentanahan *Rod* atau sistem counterpoise, dalam pemilihan menggunakan batang Rod atau sistem counterpoise tergantung dari tahanan jenis tanah dimana menara transmisi tersebut berada. Namun pada menara transmisi Ungaran–Pemalang 1 sendiri menggunakan sistem pentanahan *Rod*. Kemudian menara transmisi Ungaran–Pemalang 1 juga memiliki sistem proteksi untuk melindungi saluran transmisi dari sambaran petir yaitu salah satunya dengan menggunakan kawat konduktor dan kawat *Ground Steel Wire (GSW)*. Kawat GSW tersebut merupakan kawat yang digunakan untuk melindungi konduktor fasa dari sambaran petir, dan dipasang diatas konduktor fasa yang mana sudut perlindungannya juga diperhitungkan, agar nantinya sambaran petir dapat menyambar diatas konduktor tersebut [3].

Berdasarkan permasalahan diatas maka dibutuhkan evaluasi tahanan pentanahan menara tower SUTET 500 kV, yang dilakukan dengan pengukuran, perhitungan menggunakan metode – metode sistem pentanahan yang ada, sebagai

objek penelitian yang diambil pada kaki menara transmisi saluran udara tegangan ekstra tinggi (SUTET) 500 kV Ungaran–Pemalang 1 agar mendapatkan hasil yang sesuai dengan standar.

1.2 Perumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan di atas, maka dapat di ambil rumusan masalah sebagai berikut :

- a. Bagaimana sistem pentanahan pada kaki Menara saluran udara tegangan ekstra tinggi (SUTET) 500kV Ungaran–Pemalang 1.
- b. Bagaimana cara mengevaluasi tahanan pentanahan pada kaki Menara saluran udara tegangan ekstra tinggi (SUTET) 500kV Ungaran–Pemalang 1.
- c. Bagaimana memperbaiki sistem pentanahan agar sesuai standar SPLN T5.012:2020 yakni 10 Ω .

1.3 Pembatasan Masalah

Agar penelitian ini dapat dilakukan lebih fokus dan mendalam maka penulis memandang permasalahan penelitian yang di angkat perlu dibatasi variabelnya. Oleh sebab itu, penulis membatasi batasan masalahnya sebagai berikut :

1. Penelitian hanya mengevaluasi tahanan pentanahan kaki Menara transmisi saluran tegangan ekstra tinggi (SUTET) 500 kv Ungaran–Pemalang 1.
2. Pembahasan hanya dilakukan di wilayah 500kv Ungaran–Pemalang 1.

1.4 Tujuan

Tujuan dari penulisan tugas akhir ini yaitu :

1. Untuk mengetahui metode-metode sistem proteksi pentanahan.
2. Untuk mengetahui kondisi tahanan pentanahan kaki Menara saluran udara tegangan ekstra tinggi (SUTET) 500kV.
3. Untuk mengevaluasi tahanan pentanahan pada kaki Menara saluran udara tegangan ekstra tinggi (SUTET) 500kV.
4. Untuk mengetahui sistem pentanahan agar sesuai dengan standar.

1.5 Manfaat

Adapun manfaat yang diperoleh dari penelitian ini yaitu :

1. Diharapkan tugas akhir ini dapat menambah ilmu dan pengetahuan bagi peneliti mengenai evaluasi tahanan pentanahan kaki menara transmisi saluran udara tegangan ekstra tinggi (SUTET).
2. Dari penelitian ini semoga dapat dijadikan sebagai bahan evaluasi perusahaan serta dapat dijadikan sebagai salah satu referensi bagi siapa saja yang ingin mengkasji permasalahan ini.

1.6 Sistematika Penelitian

Untuk memudahkan dalam penyusunan tugas akhir ini maka penulis membuat sistematika sebagai berikut :

BAB I : PENDAHULUAN

Dalam bab ini berisikan latar belakang, perumusan masalah, pembatasan masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian dan sistematika penulisan.

BAB II : TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI

Bab ini membahas secara umum mengenai sistem pentanahan saluran udara tegangan ekstra tinggi 500 KV serta dasar teori dan prinsip yang melandasi Tugas Akhir ini.

BAB III : METODE PENELITIAN

Bab ini menerangkan tentang model penelitian, objek penelitian, data penelitian, dan langkah – langkah dalam penelitian.

BAB IV : HASIL PEMBAHASAN

Bab ini menjelaskan tentang pembahasan data dan analisa penelitian yang didapatkan dari hasil penelitian di lokasi dan pengolahan data yang diperoleh.

BAB V : PENUTUP

Dari hasil penelitian dan analisa yang telah dilakukan maka dapat ditarik kesimpulan dan saran sebagai penutup tugas akhir ini.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI

2.1 Tinjauan Pustaka

Beberapa penelitian tentang Evaluasi Tahanan Pentanahan Kaki Menara Transmisi Saluran Udara Tegangan Ekstra Tinggi (SUTET) 500 KV telah dilakukan oleh peneliti-peneliti terdahulu, antara lain :

- a. Studi Pentanahan Kaki Menara Transmisi 500 KV Sumatera Turun Peranap New Auduri (Hari Kurniawan, Leily.W.Johar, 2018). Hasil penelitian tersebut memperoleh informasi masalah nilai hambatan pentanahan pada kaki tower Saluran Udara Tegangan Ekstra Tinggi (SUTET) 500KV Sumatera Turun Pranap Aurduri, serta melakukan pengukuran dan perhitungan hambatan pentanahan menggunakan elektroda batang. Dan didapatkan hasil hambatan jenis tanah sebesar ± 5 Ohm, hal ini sesuai dengan S-PLN yaitu kurang dari 5 Ohm.
- b. Analisis Metode Perhitungan Tahanan Pentanahan Menara Transmisi Saluran Udara Tegangan Tinggi (SUTT) 150 kV (Herwindusono, 2018). Hasil penelitian tersebut mencari skema pengukuran terbaik dalam mengukur tahanan pentanahan, dengan objek penelitian Menara transmisi 150 kV A24 (srandol – padean lamper) dan A94 (tambak lorok – ungaran). Yang mana data hasil pengukuran tersebut dibandingkan dengan nilai sebenarnya dari objek yang diukur. Kemudian dari hasil perbandingan pengukuran didapati *error* yang berbeda-beda karena perbedaan variasi sudut dan jarak yang dibentuk oleh titik (E) (P) (C) kabel *earth tester* pada masing – masing skema. Sehingga skema yang teruji memiliki *error* pengukuran yang lebih kecil dibandingkan dengan skema lainnya.
- c. Pengaruh Konfigurasi dan Kedalaman Penanaman Konduktor Terhadap Resistansi Pentanahan Gardu Induk Tegangan Ekstra Tinggi (GITET) 500 kV Ungaran (Ahmad Riyanda, 2018). Hasil penelitian tersebut untuk mengetahui nilai resistansi penatanahan, tegangan sentuh dan tegangan langkah agar mendapatkan nilai dibawah standar. Dengan cara melakukan pengujian pada

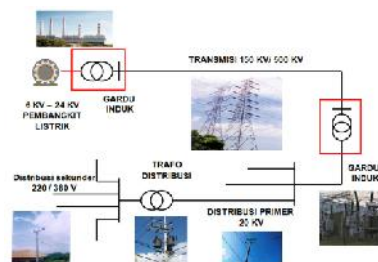
GITET 500 kV Ungaran yang kemudian didapatkan hasil nilai resistansi pentanahan 0,22 ohm, sedangkan untuk nilai tegangan sentuh dan tegangan langkah didapatkan masing – masing nilainya sebesar 689,03 volt dan 369,84 volt. Resistansi pentanahan tersebut merupakan sistem penatahan grid dengan menggunakan matlab sebagai media perhitungannya.

2.2 Dasar Teori

2.2.1 Sistem Tenaga Listrik

Gambar 2.1 menjelaskan bahwa sistem tenaga listrik terdiri dari sistem pembangkit yang merupakan komponen untuk memproduksi energi listrik melalui konversi energi, sistem pembangkit meliputi PLTU, PLTG, PLTA, PLTD dan sebagainya. Kemudian yang kedua sistem transmisi yang mana mempunyai tugas untuk mengirimkan daya listrik dari sistem pembangkit ke sistem disreibusi melalui menara transmisi yang bertujuan untuk mengurangi rugi – rugi daya di sepanjang saluran. Yang terakhir yaitu sistem distribusi, yang memiliki tugas untuk menyalurkan daya listrik ke konsumen (industri, komersial dan rumah tangga). Sistem distribusi terbagi menjadi sistem distribusi primer (jaringan tegangan menengah) dan sekunder (jaringan tegangan rendah). Di Indonesia jaringan tegangan menengah menggunakan tegangan 12 kV – 20 kV, sedangkan untuk jaringan tegangan rendah menggunakan tegangan 220 volt – 380 volt [1].

Penurunan tegangan menggunakan transformator step down, dari pembangkit 500kV di step down di gardu induk 150kV dan masuk ke konsumen di step down lagi. Jika konsumen menggunakan jaringan menengah tidak perlu penambahan transformator. Jika konsumen tegangan rendah maka diperlukan transformator step down lagi untuk turun ke 220 -380 volt.



Gambar 2.1 Diagram Sistem Tenaga Listrik

2.2.2 Transmisi

Transmisi tenaga listrik adalah penyaluran energi listrik dengan menggunakan tegangann tinggi dan saluran udara (overhead line), tidak hanya itu transmisi tenaga listrik juga untuk menyalurkan energi listrik dari satu tempat ke tempat lainya, dimulai dari Tegangan Ekstra Tinggi (EHV), Tegangan tinggi (HV), Tegangan Menengah (MHV), dan yang terakhir Tegangan Rendah (LV). Kemudian Transmisi Tegangan Ekstra Tinggi maupun Transmisi Tegangan Tinggi berfungsi untuk menyalurkan energi listrik dari satu substantion Gardu Induk ke Gardu Induk lainya. Penyaluran energi listrik membutuhkan konduktor yang direntangkan di menara melalui isolator, dengan sistem tegangan tinggi. Di Indonesia standar tegangan tinggi sendiri dimulai dari tegangan 20 kV hingga 500 kV.

Menurut klasifikasinya, transmisi listrik terdiri dari :

a. Saluran Udara Tegangan Tinggi (SUTT) 150 kV

Saluran Udara Tegangan Tinggi (SUTT) memiliki tegangan operasi sebesar 150 kV. Pada umumnya kondigurasi jaringan memiliki single atau doble sirkuit, dimana 1 (satu) sirkuit terdiri dari 3 (tiga) phasa dengan 3 (tiga) atau 4 (empat) kawat. Namun hanya 3 (tiga) kawat dan penghantar netral diganti dengan tanah sebagai saluran kembali. Jika kapasitas daya yang disalurkan besar, penghantar pada masing – masing phasa terdiri dari dua atau empat (*Doble* atau *Qudrapole*) dan berkas konduktor disebut dengan *Bundle Konduktor*. Pada saluran transmisi memiliki jarak efektif yaitu sejauh 100 km. apabila jarak tersebut melebihi 100 km maka akan terjadi drop tegangan terlalu besar, sehingga tegangan diujung transmisi menjadi rendah.

b. Saluran Udara Tegangan Ekstra Tinggi (SUTET) 500 kV

Saluran Tegangan Ekstra Tinggi (SUTET) memiliki kapasitas tegangan sebesar 500 kV. Yang bertujuan agar drop tegangan dari penampang kawat dapat direduksi secara optimal, sehingga didapatkan operasional yang lebih efesien dan efektif [4].

2.2.3 Komponen SUTET

Berdasarkan fungsi dari setiap komponen, menara saluran udara tegangan ekstra tinggi (SUTET) dapat dikelompokkan menjadi :

A. Menara

Suatu sistem transmisi SUTET tentunya harus memiliki kontruksi untuk memudahkan penyalurannya, kontruksi tersebut disebut dengan menara atau tower. Menara atau tower merupakan sebuah kontruksi besi yang dibuat dengan sangat kokoh sehingga mampu menyangga / merentangkan konduktor penghantar dengan ketinggian dan jarak yang aman untuk manusia dan lingkungan disekitarnya dengan disekat insulator. Oleh karena itu struktur menara atau tower dibagi menjadi 3 (tiga) bagian diantaranya :

1. Bracing Tower

Bracing tower berguna untuk menjaga dan mempertahankan kawat penghantar pada jarak ground clearance tertentu sehingga proses transmisi daya dapat berjalan secara kontinue. Menurut fungsinya menara atau tower dibedakan menjadi :

- a. Tower Penegang (*Tension Tower*)
- b. Tower Penyangga (*Suspension Tower*)
- c. Tower Penyekat (*Section Tower*)
- d. Tower Transposisi
- e. Tower Portal (*Gantry Tower*)
- f. Tower kombinasi (*Combined Tower*)

2. Mur dan Baut Tower

Mur serta baut tower digunakan untuk menyatukan bracing sehingga dapat membentuk kontruksi tower. Seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.2.



Gambar 2.2 Mur dan Baut Menara

3. Pondasi

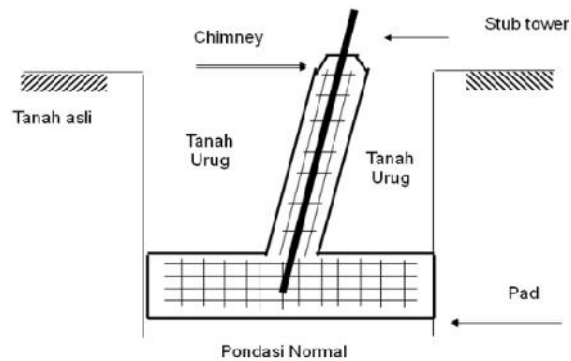
Agar dapat berdirinya sebuah menara atau tower tentunya membutuhkan sebuah pondasi yang kuat serta kokoh, maka dari itu pondasi pada menara atau tower dibedakan menjadi 2 (dua) jenis yaitu :

a. Pondasi Lattice Tower

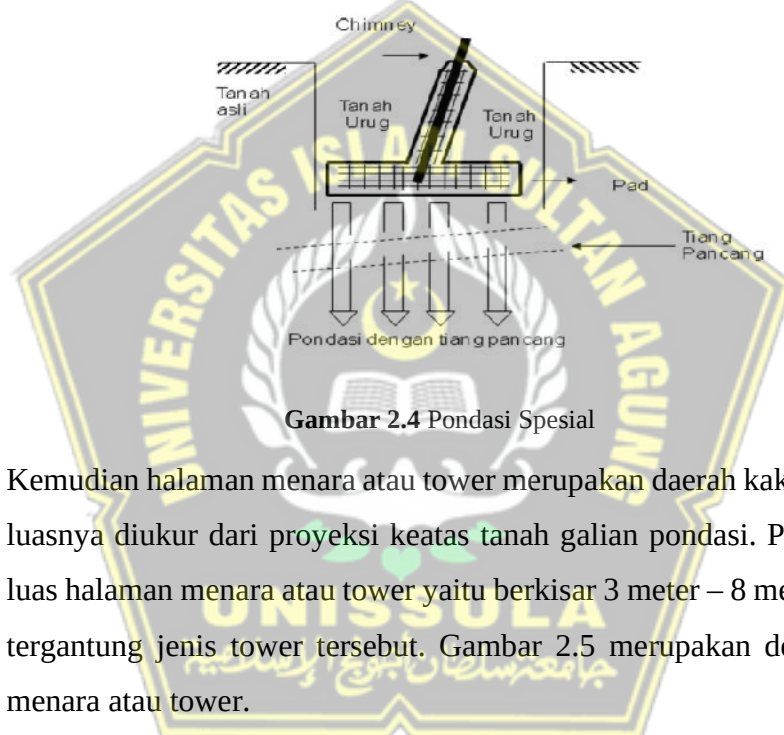
Pondasi yaitu konstruksi beton bertulang yang berguna untuk menapakkan kaki menara atau tower (*stub*) dengan bumi. Jenis pondasi tower sangat beragam menurut kondisi tanah dimana kaki menara ditapakkan serta beban yang akan ditanggung menara itu sendiri. Menara atau tower jenis *tension* akan dirancang lebih kuat guna untuk menanggung beban tarik dari pada menara atau tower jenis *suspension*. Jenis pondasi lattice tower adalah sebagai berikut :

-) Normal : digunakan pada daerah yang memiliki tekstur tanah keras.
-) Spesial : digunakan pada daerah yang memiliki tekstur tanah yang gembur atau tidak keras.
-) *Raff* : digunakan pada daerah perairan atau berawa.
-) *Auger* : digunakan karena mudah dalam pengerjaannya hanya dengan mengebor dan mengisi dengan semen.
-) *Rock drilled* : digunakan pada daerah bebatuan.

Stub yaitu bagian dasar dari kaki menara atau tower, dipasang secara bersama dengan pondasi serta disatukan dengan pondasi. Pada bagian atas *stub* harus dimunculkan dipermukaan tanah sekitar 0,5 hingga 1 meter dan bagian tersebut harus benar – benar terlindungi agar tidak mudah berkarat. Pemasanganyapun tidka boleh sembarangan melaikan harus memenuhi berbagai syarat seperti jarak *stub* harus benar, memperhatikan kemiringan *stub* dengan kaki menara atau tower, dan titik hubung *stub* tidak diperbolehkan adanya selisih hingga 2 mm. Gambar 2.3 dan 2.4 merupakan perbedaan pemasangan *stub* pada pondasi normal dengan pondasi spesial.

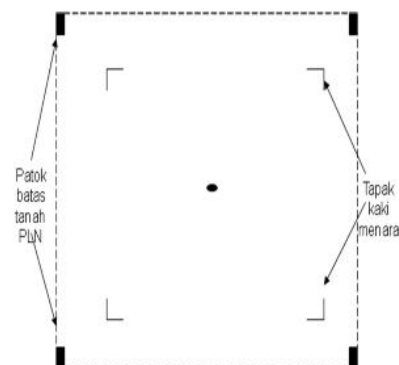


Gambar 2.3 Pondasi Normal



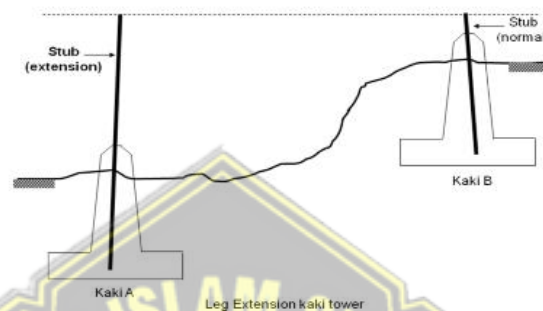
Gambar 2.4 Pondasi Spesial

Kemudian halaman menara atau tower merupakan daerah kaki menara yang luasnya diukur dari proyeksi keatas tanah galian pondasi. Pada umumnya luas halaman menara atau tower yaitu berkisar 3 meter – 8 meter diluar *stub* tergantung jenis tower tersebut. Gambar 2.5 merupakan desain halaman menara atau tower.



Gambar 2.5 Halaman Menara

Kaki menara atau bisa disebut dengan leg merupakan bagian yang akan terhubung dengan *stub* dengan body menara diperlihatkan Gambar 2.6. Apabila terdapat permukaan tanah yang tidak rata maka diperlukannya penambahan atau pengurangan tinggi leg. Dan boddy menara harus tetap sama tinggi permukaanya.



Gambar 2.6 Leg Menara

b. Pondasi Tower Pole

Berikut ini adalah jenis pondasi yang dapat digunakan pada tower pole diantaranya :

1. Pondasi bor yang mencakup :
 -) Pondasi bor poros lurus
 -) Pondasi bor tanam langsung
2. Pondasi beton bertulang dengan baut angkur yang mencangkup :
 -) Pondasi beton bertulang dengan tiang pancang
 -) Pondasi beton bertulang tanpa tiang pancang [3]

B. Konduktor

Kawat konduktor merupakan komponen untuk menyalurkan arus yang berbahan tembaga atau alumunium dengan inti baja (steel alumunium cable atau ACSR). Namun tidak semua kawat tembaga dan alumunium dapat digunakan, hanya jenis tertentu yang dapat digunakan atau biasa digunakan seperti jenis tembaga dengan konduktivitas 100% (cu 100%), tembaga dengan konduktivitas 97.5% (cu 97.5%), dan alumunium dengan konduktivitas 61% (Al 61%).

Berjalanya waktu kawat penghantar jenis alumunium menggantikan kawat penghantar jenis tembaga karena lebih ringan serta murah. Hal tersebut tentunya tidak murni menggunakan bahan alumunium saja tetapi bahan alumunium tersebut harus menggunakan campuran alumunium alloy guna memperbesar kuat tarik dari kawat alumunium sendiri. Karena pada dasarnya saluran transmisi tegangan tinggi dipasang dengan jarak yang jauh antar menaranya, sehingga membutuhkan kuat tarik yang tinggi, maka dari itu dibutuhkannya kawat penghantar ACSR.

Kawat penghantar alumunium memiliki berbagai jenis antara lain :

1. ACC (All – Alumunium Conductor) adalah kawat penghantar yang terbuat dari alumunium.
2. AAAC (All – Alumunium – Alloy Conductor) adalah kawat penghantar yang terbuat dari campuran alumunium.
3. ACSR (Alumunium Conductor, Steel - Reinforced) adalah kawat penghantar alumunium yang berinti kawat baja.
4. ACAR (Alumunium Conductor, Alloy - Reinforced) adalah kawat penghantar alumunium yang diperkuat oleh logam campuran.



Gambar 2.7 Jenis Kawat Penghantar

C. Isolator

Isolator yaitu digunakan untuk mengisolasi konduktor terhadap ground. Isolator terbuat dari bahan porselin, gelas dan sintetik. Bahan tersebut harus memiliki sifat resistansi yang sangat tinggi agar dapat melindungi dari kebocoran

arus serta harus memiliki ketebalan yang sangat cukup guna mencegah terjadinya breakdown pada tekanan listrik bertegangan tinggi.

Umumnya isolator yang digunakan pada saluran transmisi yaitu berbahan porselin dan gelas. Kemudian isolator dapat diklasifikasikan menjadi :

1. Isolator jenis pasak
2. Isolator jenis pos – saluran
3. Isolator jenis gantung

Pada isolator jenis pasak dan jenis pos – saluran digunakan pada saluran transmisi jaringan rendah (22 kV – 33 kV), sedangkan isolator jenis gantung dapat disusun menjadi rangkaian isolator yang jumlahnya dapat diatur sesuai dengan kebutuhan, contohnya untuk satu piringan isolator digunakan untuk tegangan 15 kV, apabila tegangan yang digunakan yaitu sebesar 150 kV, maka piringan isolator yang digunakan adalah 10 piringan [4].

D. Sistem Pentanahan

Sistem pentanahan (*grounding*) merupakan suatu sistem pengamanan terhadap peralatan-peralatan yang menggunakan listrik sebagai sumber tenaga, dari lonjakan listrik, petir, dan gangguan-gangguan lainnya. Salah satu usaha untuk memperkecil tegangan permukaan tanah yaitu dengan cara menambahkan elektroda pentanahan yang ditanam ke dalam tanah.

Secara umum tujuan dari sistem pentanahan yaitu :

- a. Membawa arus listrik ke bumi dalam keadaan normal apabila terjadi gangguan tanpa melewati batas pengoperasian dan peralatan yang dapat menimbulkan dampak terus menerus pada peralatan.
- b. Menjamin manusia dan hewan disekitar peralatan yang dibumikan terlindungi dari bahaya kejut listrik.

Agar sistem pentanahan dapat bekerja secara efektif, maka dibutuhkan persyaratan sebagai berikut :

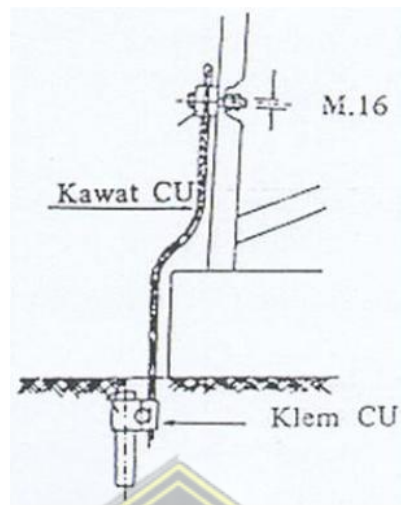
- a. Membuat jalur impedansi rendah ke tanah untuk pengamanan personil dan peralatan, mengguankan rangkaian yang efektif.

- b. Dapat melawan dan menyebarkan gangguan berulang dan arus akibat surja hubung (surge current) atau surja petir.
- c. Menggunakan bahan tahan korosi terhadap berbagai kondisi kimiawi tanah, untuk menyakinkan kontinuitas penampilannya sepanjang umur peralatan yang dilindungi.
- d. Menggunakan sistem mekanik yang kuat namun mudah dalam pelayanan [5].

Pada sistem pentanahan semakin kecil nilai tahanan maka semakin baik terutama untuk pengamanan personal dan peralatan, beberapa standar yang telah disepakati adalah bahwa saluran transmisi subtasian harus direncanakan sedemikian rupa sehingga nilai tahanan tidak lebih dari 1Ω untuk tahanan pentanahan pada komunikasi sistem atau data dan maksimum harga tahanan yang diijinkan yaitu 5Ω pada gedung atau bangunan.

Kisi-kisi pentanahan tergantung pada kerja ganda dan pasak yang terhubung. Dari segi besarnya nilai tahanan bahan yang dipakai pasak tidak mengurangi besar tahanan pentanahan sistem, namun mempunyai fungsi tersendiri yang penting. Bahannya sendiri mempunyai harga impedansi awal beberapa kali lebih tinggi daripada harga tahanannya terhadap tanah pada frekuensi rendah. Bahan pentanahan dimaksudkan untuk mengontrol dalam batas aman sesuai peralatan yang digunakan, sedangkan pasak adalah batang sederhana, hal ini menyebabkan jatuhnya tahanan tanah dalam gradien tegangan yang tinggi pada permukaan pasak. Sebagai akibat dari sifat ini maka pasak harus ditempatkan didekat atau sekitar bangunan stasion. Dalam saluran tegangan tinggi (132kV) tahanan maksimalnya 15Ω masih dapat ditoleransi dan dalam saluran distribusi (33-0,4 kV) dipilih tahanan 25Ω . Untuk menurunkan nilai tahanan pentanahan maka ada beberapa metode diantaranya :

1. Sistem batang elektroda parallel
2. Sistem pasak tanam dalam dengan beberapa pasak dan diperlukan terhadap kondisi kimiawi tanah
3. Dengan menggunakan pelat tanam, penghantar tanam, dan beton rangka baja yang secara listrik terhubung [6].



Gambar 2.8 Sistem Pentanahan

Gambar 2.8 merupakan skema sistem pentanahan pada kaki Menara transmisi.

Sistem pentanahan dibagi menjadi 2 (dua) yaitu :

1. Sistem pentanahan titik netral

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

Tujuan dari sistem pentanahan titik netral yaitu :

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

Pentanahan peralatan adalah pentanahan 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), maksud dari peralatan tersebut 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. Apabila seseorang berdiri di tanah 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 [5].

2.2.4 Jenis – Jenis Sistem Penanahan

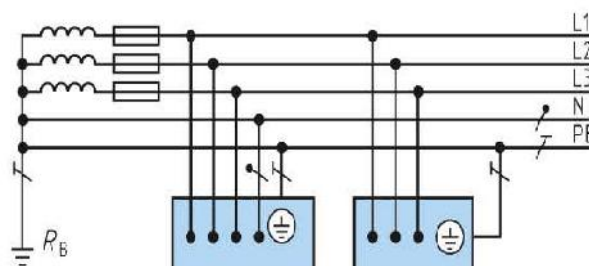
Pemasangan sistem pentanahan terbagi beberapa tipe/jenis yang tergantung kebutuhan dan tingkat keamanan sekaligus regulasi yang berlaku pada suatu wilayah. Penentuan jenis sistem pentanahan ini sangat diperlukan ketika ingin mendesain suatu sistem instalasi. Adapun jenis-jenis sistem pentanahan berdasarkan standar PUIL 2011 adalah :

1. Sistem TN (Terre Neutral)

Sistem daya TN mempunyai titik yang dibumikan langsung pada sumber BKT instalasi yang dihubungkan ke titik tersebut melalui konduktor proteksi. Tiga jenis sistem TN dipertimbangkan sesuai dengan susunan konduktor netral dan proteksi sebagai berikut :

A. Sistem TN-S (Terre Neutral - Separate)

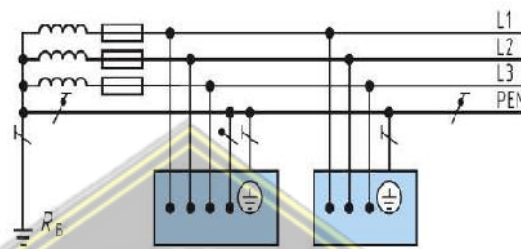
Sistem TN-S ini digunakan konduktor proteksi yang terpisah pada seluruh sistem. Jadi semua sistem mempunyai 2 (dua) saluran N dan PE secara tersendiri (*separated*) seperti yang ditunjukkan Gambar 2.9.



Gambar 2.9 Sistem TN-S

B. Sistem TN-C (*Terre Neutral – Combined*)

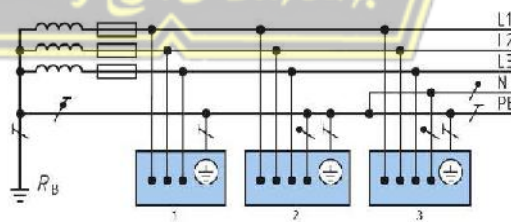
Sistem TN-C merupakan saluran netral dan saluran pengaman yang disatukan pada sistem secara keseluruhan. Semua bagian sistem mempunyai saluran PEN yang merupakan kombinasi antara saluran N dan PE. Maka seluruh sistem TN-C memiliki saluran PEN yang sama seperti pada Gambar 2.10.



Gambar 2.10 Sistem TN-C

C. Sistem TN-C-S (*Terre Neutral – Combined - Separate*)

Sistem TN-C-S merupakan saluran netral dan saluran pengaman yang dijadikan menjadi satu saluran pada sebagian sistem dan terpisah menjadi pada sebagian sistem yang lain. Maka terlihat pada Gambar 2.11 bahwa sebagian sistem 1 dan 2 mempunyai satu hantaran PEN (*combined*). Sedangkan pada bagian sistem 3 menggunakan dua hantaran, N dan PE secara terpisah (*separated*), dan biasanya disebut dengan Protective Multiple Earthing (PME).

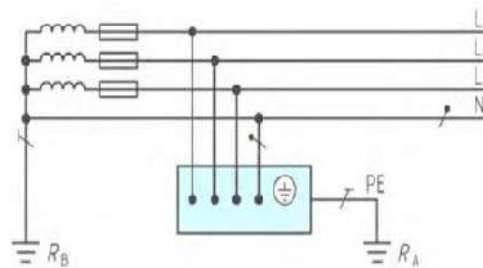


Gambar 2.11 Sistem TN-C-S

2. Sistem TT (*Dobble Terre*)

Gambar 2.12 memperlihatkan sistem TT hanya mempunyai satu titik yang dibumikan langsung dan BKT instalasi dihubungkan ke elektrode bumi yang independen secara listrik dari elektrode bumi sistem suplai. Pada sistem ini

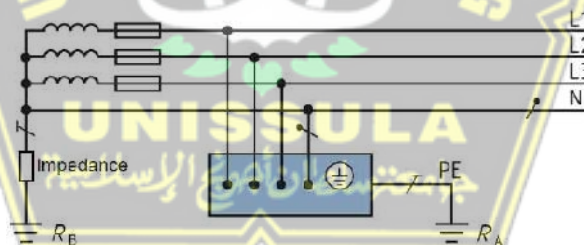
merupakan sistem yang lazim di Eropa, dan di Indonesia digunakan untuk instalasi yang banyak memakai perangkat elektronik atau komunikasi.



Gambar 2.12 Sistem TT

3. Sistem IT (Isolated Terre)

Sistem daya IT mempunyai semua bagian aktif diisolasi dari bumi atau satu titik dihubungkan ke bumi melalui impedans. BKT instalasi listrik dibumikan secara independent atau secara kolektif atau ke pembumian terlihat pada Gambar 2.13. Sistem ini biasa digunakan di Indonesia, khususnya untuk instalasi yang memerlukan kontinuitas pelayanan (missal pada sebagian instalasi rumah sakit). Pada sistem ini apabila terjadi gangguan pertama, maka gawai proteksi tidak akan trip (terbuka) [7].



Gambar 2.13 Sistem IT

2.2.5 Komponen Pentanahan

a. Penghantar Pentanahan

Kawat tanah pengaman dihubungkan ke semua bagian metal peralatan listrik, dan juga ke bagian-bagian bangunan yang berwujud metal, kontruksi penyangga kabel yang terbuat metal. Penghantar pentanahan berfungsi untuk mengalirkan arus gangguan tanah (besar dan lama arus gangguan tanah) tanpa menimbulkan kenaikan suhu yang berlebihan. Aturan untuk pemasangan penghantar pentanahan adalah :

1. Bila digunakan kawat berisolasi, kawat pentanah sama penampangnya dengan kawat fase yang bersangkutan.
2. Bila digunakan kawat telanjang, kenaikan suhu maksimum dan untuk tempat-tempat tertentu suhu maksimum adalah sebesar 100°C.
3. Kawat pentanah perlengkapan harus dibuat tersendiri dan tidak digabungkandenan kawat pentanah titik netral.

b. Bus pentanahan

Didalam membatasi tegangan, rangkaian impedansi rendah untuk arus gangguan tanah sangat dibutuhkan. Dibutuhkan bus pentanahan ditentukan oleh bear arus dan lamanya mengalirnya arus gangguan tanah, yaiutu dibatasi oleh suhu maksimum yang diperbolehkan. Kenaikan suhu yang disyaratkan untuk setiap sambungan akan berbeda. Untuk sambungan dengan baut, kenaikan suhu maksimum adalah 250°C dihitung dengan persamaan (2.1) sedangkan apabila suhu pemulaan sebesar 26°C maka dihitung dengan persamaan (2.2).

$$A = 10,6 I \sqrt{s} \dots \dots \dots (2.1)$$

Sedangkan untuk sambungan las, suhu maksimum adalah 45°C

$$A = 8,7 I \sqrt{s} \dots \dots \dots (2.2)$$

dengan :

A = luas penampang konduktor (m²)

I = arus gangguan tanah (ampere)

S = lama aliran arus (second)

Arus yang digunakan dalam perhitungan tergantung pada sistem pentanahan netral. Untuk sistem yang tidak ditanahkan atau pentanahan dengan impedansi, arus gangguan adalah arus gangguan fase ke fase. Untuk pentanahan tanpa impedansi, arus yang digunakan untuk perhitungan adalah arus gangguan tiga fase. Ukuran penampang bus pentanah tidak boleh kurang dari 70 mm², untuk gardu induk besar atau pusat pembangkit, ukuran terbesar tidak perlu lebih dari 250 mm². Untuk pembangkit dangardu induk kecil, penampang yang diguankan cukup 90 mm². Pemasangan bus pentanah didasarkan atas petunjuk sebagai berikut :

1. Bus pentanah harus dipasang mengelilingi bangunan. Untuk bangunan dengan kerangka baja, bus pentanahan harus dihubungkan dengan pilar-pilar

baja sisi terluar, untuk bangunan yang sangat besar, bus pentanah harus dibuat berbentuk grid. Bus pentanah dihubungkan dengan elektroda pentanah setiap jarak 200 ft (60 meter) atau kurang.

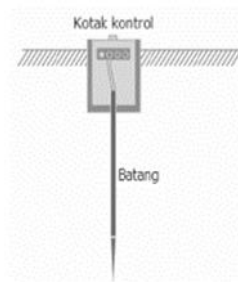
2. Bila Gedung terdiri dari beberapa tingkat, tiap tingkat perlu diberi bus pentanah sendiri-sendiri.
3. Bus pentanah harus terlindung dari kerusakan mekanis, dan apabila metal digunakan sebagai pelindung kabel pentanah, paling tidak pada kedua ujung harus dihubungkan dengan bus tersebut.
4. Sambungan-sambungan di dalam tanah tidak boleh menggunakan baut, tetapi dengan las [8].

c. Elektroda pentanahan

Elektroda adalah konduktor yang digunakan untuk bersentuhan dengan bagian atau media non-logam. Elektroda dikatakan suatu benda yang berfungsi untuk pentanahan dan juga sebuah konduktor yang bersentuhan langsung dengan tanah. Elektroda pentanahan berupa batang (*Rod*) , pipa, plat atau penghantar yang dibenam dalam tanah, dengan ukuran bahan dan kedalaman yang tepat. Elektroda tersebut harus terbuat dari bahan yang tahan korosi seperti tembaga (copper), atau baja dilapisi tembaga. Adapun macam - macam elektroda pentanahan sebagai berikut :

1. Elektroda Batang (*Rod*)

Elektroda batang ini dari pipa atau besi profil yang dipasangkan ke dalam tanah. Elektroda ini merupakan elektroda yang pertama kali digunakan sekaligus menjadi landasan teori-teori baru dari elektroda pada jenis lain. Secara teknis, elektroda batang ini mudah pemasangannya, yaitu dengan menancapkan kedalam tanah. Kelebihan elektroda jenis batang (*Rod*) adalah tidak memerlukan lahan yang luas. Elektroda batang ini juga sering dipergunakan untuk gardu induk. Berikut Gambar 2.14 bentuk dari elektroda pentanahan batang (*Rod*) [9].



Gambar 2.14 Elektroda Pentanahan Barang (Rod)

Gambar 2.15 memperlihatkan aliran tegangan yang terjadi untuk batang elektroda tunggal dan Gambar 2.16 memperlihatkan aliran tegangan yang terjadi untuk dua batang elektroda yang ditanam tegak lurus ke dalam tanah, yang mana arus gangguan akan mengalir dari elektroda ke tanah. Kemudian U_x dimisalkan bahwa tegangan elektroda pentanahan atau tegangan diantara elektroda dengan tanah.



Gambar 2.15 Aliran Tegangan Pada Satu Batang Elektroda

Gambar 2.16 Aliran Tegangan Pada Dua Batang Elektroda

Oleh karena itu semakin banyak elektroda yang ditanam tegak lurus di dalam tanah maka tahanan pentanahan akan semakin kecil dan aliran tegangan akan semakin merata.

a. Satu Batang Elektroda Tegak Lurus Ke Dalam Tanah

Pada suatu konduktor terdapat hubungan antara tahanan dan kapasitansi dengan persamaan (2.3).

$$R = \frac{\rho}{2\pi C} \dots\dots\dots(2.3)$$

dengan :

R = Tahanan (Ω)

ρ = Tahanan Jenis Tanah (Ω/m)

C = Kapasitansi (Farad)

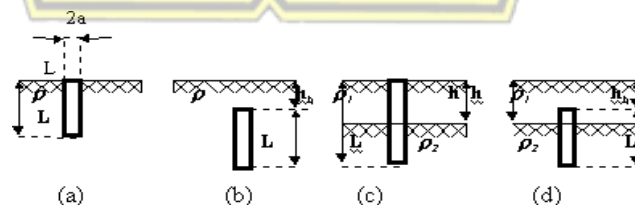
Kapasitansi tersebut berasal dari refleksi konduktor yang ditanam ke dalam tanah. Untuk menghitung kapasitansi elektroda pentanahan dan refleksi, dapat menggunakan metode potensial rata – rata menurut G.W.O Home. Elektroda pentanahan merupakan alat pengantar yang mengalirkan muatan listrik disekitar elektorda pentanahan. Oleh karena itu maka potensial disetiap tempat pada permukaan elektroda akan sama. Apabila elektroda diberi suatu muatan yang sama rata, maka kapasitansi dapat dihitung dengan metode potensial rata – rata. Untuk satu batang elektroda berbentuk silinder yang ditanam didalam tanah dapat di hitung dengan menggunakan persamaan (2.4). dan Gambar 2.17 merupakan satu batang elektroda yang ditanam tegak lurus ke dalam tanah.

$$\frac{1}{C} = \frac{1}{L} \left(L \frac{4L}{a} - 1 \right) \dots\dots\dots(2.4)$$

dengan :

C = Kapasitansi (Farad)

L = panjang elektroda batang (m)



Gambar 2.17 Satu Batang Elektroda Tegak Lurus Ke Dalam Tanah

Untuk menentukan tahanan dari satu batang elektroda yang ditanam tegak lurus di permukaan tanah dapat dihitung menggunakan persamaan (2.5).

$$R_{a1} = \frac{\rho}{2\pi} \left(L \frac{4L}{a} - 1 \right) \dots\dots\dots(2.5)$$

Untuk elektroda batang yang ditanam tegak lurus pada kedalaman beberapa cm di bawah permukaan tanah dapat dihitung menggunakan persamaan (2.6).

$$R_{d1} = \frac{\rho_1}{2\pi} \left[L \left(\frac{2L}{a} \right) - 1 \right] \dots \dots \dots (2.6)$$

Untuk satu elektroda batang yang ditanam tegak lurus kedalam tanah dan menembus lapisan kedua tanah dapat dihitung menggunakan persamaan (2.7).

$$R_{d1} = R_a = \frac{\rho_2}{2\pi} \left[L \left(\frac{4L}{a} \right) - 1 \right] \dots \dots \dots (2.7)$$

Dan yang terakhir untuk elektroda batang yang ditanam tegak lurus pada kedalaman beberapa cm di bawah permukaan tanah dan menembus lapisan kedua tanah dapat dihitung menggunakan persamaan (2.8) hingga persamaan (2.11).

$$R_{d1} = R_a = \frac{\rho_2}{2\pi(h-h_b)} \left[L \left(\frac{2L}{a} \right) - 1 + \frac{L^2}{1 + \frac{(4L^2)h_b}{L}} \right] + \frac{\rho_1}{h} \varphi_0 \dots \dots \dots (2.8)$$

$$\varphi_0 = \frac{\frac{1}{2\pi} \left(L \frac{1}{1-K} \right)}{\sqrt{\left(\frac{N}{F_0} - 1 \right)^2 + 1}} \dots \dots \dots (2.9)$$

$$F_0 = \frac{L}{1-0.9K} \dots \dots \dots (2.10)$$

$$K = \frac{\rho_2 - \rho_1}{\rho_2 + \rho_1} \dots \dots \dots (2.11)$$

dengan :

R_{d1} = Tahanan untuk satu batang elektroda (Ω)

L = Panjang elektroda batang (m)

a = jari – jari batang elektroda (m)

ρ_1 = Tahanan jenis tanah lapisan tanah 1 (Ω/m)

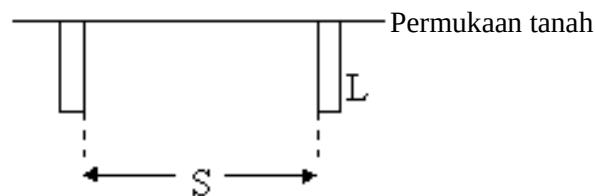
ρ_2 = Tahanan jenis tanah lapisan tanah 2 (Ω/m)

h_b = kedalaman penanaman elektroda (m)

b. Dua Batang Elektroda Tegak Lurus Ke Dalam Tanah

Gambar 2. 18 menunjukkan dua batang elektroda yang berbentuk silinder dengan panjang L yang ditanam tegak lurus di permukaan tanah dengan jarak S diantara kedua batang elektroda. Untuk mengurangi nilai tahanan

pentanahan dan nilai tahanan jenis tanah yang tinggi maka cukup dengan menambahkan beberapa batang elektroda.



Gambar 2. 18 Dua Batang Elektroda Ditanam Tegak Lurus Ke Dalam Tanah

Untuk menghitung tahanan pentanahan dua batang elektroda yang ditanam tegak lurus ke dalam tanah yaitu dengan menggunakan persamaan (2.12) dan (2.13).

Untuk $S > L$

$$R_{d2} = \frac{\rho}{4\pi} \left(\ln \frac{4L}{a} - 1 \right) + \frac{\rho}{4\pi} \left(1 - \frac{L^2}{3S^2} + \frac{2}{5} \frac{L^4}{S^4} + \dots \right) \dots \dots \dots (2.12)$$

Untuk $S < L$

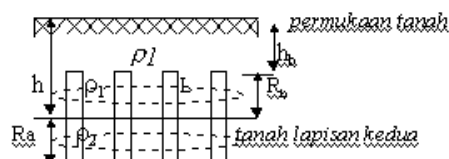
$$R_{d2} = \frac{\rho}{4\pi} \left(\ln \frac{4L}{a} + \ln \frac{4L}{S} - 2 + \frac{S}{2L} - \frac{S^2}{1 L^2} + \frac{S^4}{5 L^4} \right) \dots \dots \dots (2.13)$$

dengan :

S = Jarak antar kedua batang elektroda (m)

c. Beberapa Batang Elektroda (*Multiple – Rod*) Tegak Lurus Ke Dalam Tanah

Semakin banyak jumlah batang elektroda yang ditanam ke dalam tanah, maka semakin kecil pula tahanan pentanahannya. Gambar 2.19 menunjukkan bahwa permukaan elektroda yang tegak lurus ke dalam tanah menyerupai bentuk bujur sangkar atau empat persegi panjang dengan jarak antara batang elektroda pentanahan.



Gambar 2.19 Beberapa Batang Elektroda Tegak Lurus Ke Dalam Tanah

Dengan menggunakan rumus persamaan (2.14), maka dapat ditentukan nilai tahanan pentanahan untuk beberapa batang elektroda yang ditanam tegak lurus ke dalam tanah dimana elektroda batang (*Rod*) menembus lapisan permukaan tanah yang ke-2 sebagai berikut :

$$(0 \leq h \leq L + h_b)$$

$$R_t = \frac{1}{\frac{1}{R_a} + \frac{1}{R_b}} \dots\dots\dots(2.14)$$

R_t merupakan tahanan elektroda batang (*Rod*), untuk mencari R_a dan R_b maka membutuhkan persamaan (2.15) hingga (2.17).

$$R_a = \frac{\rho_2}{(L + h_b - h)} g_0 \frac{F_0}{N} \dots\dots\dots(2.15)$$

$$R_b = \frac{\rho_1}{(h - h_b)} g_0 \frac{F_0}{N} + \frac{\rho_1}{h} \varphi_0 \dots\dots\dots(2.16)$$

$$g_0 = \frac{1}{2\pi} \left[\ln \left(\frac{2L}{a} \right) - 1 + \frac{L^2}{1 + \frac{(4L^2 - 2)h_b}{L}} \right] \dots\dots\dots(2.17)$$

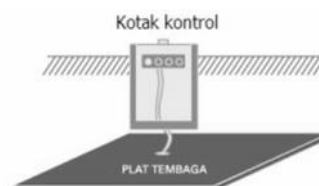
dengan :

N = Jumlah Batang *Rod*

$R_a = R_b$ = Tahanan Berdasarkan Posisi Elektroda (Ω) [10]

2. Elektroda Pita (*Strip*)

Elektroda pita merupakan elektroda yang terbuat dari hantaran berbentuk pita atau berpenampang bulat atau hantaran pilin yang pada umumnya ditanam secara dalam. Pemasangan elektroda jenis ini akan sulit dilakukan bila mendapati lapisan-lapisan tanah yang berbatu. Disamping sulit pemasangannya, untuk mendapati nilai tahanan yang rendah juga akan bermasalah. Untuk mengatasi hal tersebut pemasangan secara vertical kedalam tanah dapat dilakukan dengan menanam batang hantaran secara mendatar (horizontal) dan dangkal. Berikut ini adalah Gambar 2.20 bentuk dari elektroda pentanahan pita (*Strip*).



Gambar 2.20 Elektroda Pentanahan Pita

Elektroda jenis pita dapat dibedakan menjadi kontinu dan jenis radial.

a. Jenis Kontinue

Terdiri atas sebuah elektroda kawat horizontal yang ditanam di bawah saluran transmisi dari ujung ke ujung atau sepanjang bagaian tertentu dan dihubungkan ke kawat pentanahan (Overhead Ground Wire) pada masing-masing tiang penyangga.

b. Jenis Radial

Terdiri dari beberapa elektroda kawat horizontal dengan panjang lengan sama dan antar lengan dipisahkan dengan sudut yang sama. Berdasarkan pertimbangan karakteristik fungsi surja petir, penggunaan elektroda ini lebih menguntungkan [9].

Untuk perhitungan R (tahanan) pentanahan elektroda pita dapat dihitung dengan menggunakan persamaan (2.17) [11]:

$$R = \frac{\rho}{\pi} \left[L \left(\frac{2L}{d} \right) \right] \dots \dots \dots (2.17)$$

dengan :

R = Tahanan Dengan Kisi – Kisi (Grid) Kawat (Ω)

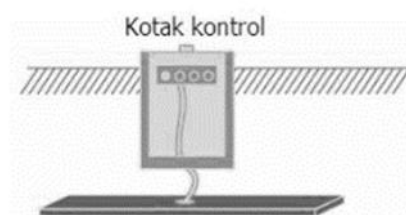
ρ = Tahanan Jenis Tanah (Ω/m)

L = Panjang Elektroda Pita Yang Ditanam (m)

d = Diameter Elektroda (m)

3. Elektroda Pelat

Elektroda berupa pelat logam (utuh atau berlubang) atau dari kawat kasa. Elektroda ini digunakan bila diinginkan tahanan pentanahan yang kecil dan sulit diperoleh dengan menggunakan jenis-jenis elektroda yang lain [9]. Kemudian Gambar 2.21 merupakan bentuk sistem elektroda pentanahan pelat.



Gambar 2.21 Elektroda Pentanahan Pelat

Untuk perhitungan R (tahanan) pentanahan elektroda plat dapat dihitung dengan menggunakan persamaan 2.18 [11]:

$$R = \frac{\rho}{4,1L} \left[1 + 1,84 \frac{b}{t} \right] \dots \dots \dots (2.18)$$

dengan :

R = Tahanan Dengan Kisi – Kisi (Grid) Kawat (Ω)

ρ = Tahanan Jenis Tanah (Ω/m)

l = Panjang Pelat (m)

b = Lebar Pelat (m)

t = Kedalaman Pelat Yang Tertanam (m)

2.2.6 Tahanan Jenis Tanah

Faktor keseimbangan antara tahanan pentanahan dan kapasitansi disekelilingnya adalah tahanan jenis tanah yang dipresentasikan dengan ρ . Harga tahanan jenis tanah pada daerah kedalaman yang terbatas tergantung dari beberapa faktor diantaranya :

1. Jenis tanah
2. Lapisan tanah
3. Kelembapan tanah
4. Temperature

Tahanan jenis tanah bervariasi dari 500 sampai 50.000 Ω/cm^3 . Untuk mengurangi perubahan tahanan jenis tanah akibat pengaruh musim, pengentanahan dapat dilakukan dengan menanam elektroda sampai dengan kedalaman dimana terdapat air tanah yang konstan. Pada sistem pengentanahan yang tidak mungkin atau tidak perlu untuk ditanam lebih dalam sehingga mencapai air tanah yang konstan, variasi tahanan jenis tanah sangat besar.

Tahanan tanah ditentukan dari tahanan elektroda dan pada kedalaman beberapa pasak harus ditanam agar diperoleh tahanan yang rendah. Tahanan tanah sangat bervariasi di berbagai tempat, dan akan berubah menurut iklim, tahanan tanah tersebut di tentukan oleh kandungan elektrolit didalamnya, seperti air, mineral garam-garaman. Tanah kering dan berbatu mempunyai nilai tahanan yang tinggi, tetapi tanah yang basah juga dapat mempunyai tahanan tinggi, apabila tidak

mengandung garam-garaman yang dapat larut. Pengaruh jenis tanah, nilai resistansi pentanahan untuk berbagai jenis tanah adalah berbeda. Hal ini disebabkan karena struktur tanah yang berlainan antara jenis tanah yang satu dengan jenis tanah lainnya.

Tabel 2.1 nilai rata – rata resistansi jenis tanah dan Tabel 2.2 nilai rata - rata dari resistansi pembumian untuk elektroda bumi menurut PUIL 2011.

Tabel 2.1 Nilai Rata - Rata Resistansi Jenis Tanah

No.	JENIS TANAH	TAHANAN JENIS TANAH (Ω/m)
1.	Tanah Yang Mengandung Air Garam	5-6
2.	Rawa	30
3.	Tanah Liat	100
4.	Pasir Basah	200
5.	Batu-Batu Kerikil Basah	500
6.	Pasir Dan Batu Kerikil Kering	1.000
7.	Batu	3.000

Tabel 2.2 Nilai Rata - Rata dari Resistansi Pembumian untuk Elektroda Bumi

Jenis Elektroda	Pita Atau Hantaran Pilin				Batang Atau Pipa				Pelat Vertical 1 m Di Bawah Permukaan Tanah Dalam m ²	
	Panjang (m)				Panjang (m)					
	10	25	50	100	1	2	3	4	0,5 x 1	1 x 1
Tahanan Pentanhan	20	10	5	3	70	40	30	20	35	25

Nilai Tahanan Jenis Tanah dapat dihitung dengan persamaan (2.19).

$$R = \frac{\rho}{2\pi.L} \left(l \frac{4.L}{r} - 1 \right) \dots\dots\dots(2.19)$$

dengan :

R = Tahanan Elektroda Pentanahan (Ohm)

ρ = Tahanan Jenis (Ω/Cm)

r = Jari – Jari Elektroda Pentanahan (Cm)

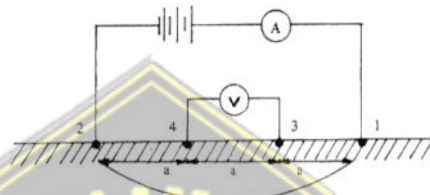
L = Panjang Elektroda Pentanahan (Cm)

2.2.7 Pengukuran Tahanan Jenis Tanah

Pengukuran tahanan jenis tanah biasanya dengan menggunakan metode, sebagai berikut :

a. Metode Empat Elektroda (*Four Electrode Method*)

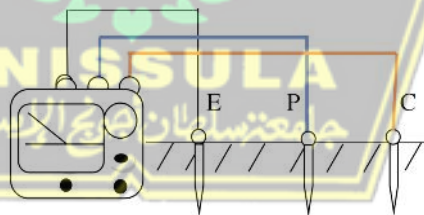
Pengukuran tahanan jenis tanah dengan metoda empat elektroda yaitu dengan menggunakan empat buah elektroda, sebuah baterai, sebuah ampermeter dan sebuah voltmeter yang sensitif diperlihatkan pada Gambar 2.22.



Gambar 2. 22 Rangkaian pengukuran Tahanan Jenis Tanah Metode Empat Titik

b. Metode Tiga Titik (*Three-Point Method*)

Metoda tiga titik yaitu pengukuran tahanan jenis tanah dengan tiga buah batang elektroda dimana batang 1 yang tahananannya akan diukur batang 2 dan 3 sebagai batang pengentanahan pembantu yang juga belum diketahui tahananannya [12]. Seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.23.



Gambar 2. 23 Rangkaian Pengukuran Tahanan Jenis Tanah Metode Tiga Titik

2.2.8 Tahanan Kaki Menara

Untuk melindungi kawat fasa terhadap sambaran petir langsung maka menggunakan kawat tanah yang terletak di atas kawat fasa dengan sudut perlindungan lebih kecil 18° . Adanya kemungkinan loncatan balik (*back flash over*) karena sambaran petir langsung di puncak menara atau kawat tanah, agar mengura tahanan kaki menara maka dibuat tidak melebihi 10Ω . Untuk memperoleh tahanan kaki menara 10Ω maka bisa menggunakan 2 (dua) metode yaitu dengan

menggunakan 1 (satu) / lebih batang pentanahan (*Grounding Rod*) dan sistem *counterpoise*. Pemilihan penggunaan batang pentanahan atau sistem *counterpoise* ditentukan dari tahanan jenis tanah pada menaratransmisi.

1. Batang Pentanahan

Apabila menggunakan batang pentanahan, tahanan kaki tower dapat dihitung dengan persamaan (2.20).

$$R = \frac{\rho}{2\pi} \left(L \frac{2L}{a} - 1 \right) \dots\dots\dots(2.20)$$

dengan :

R = tahanan kaki menara (Ω)

ρ = tahanan jenis tanah (Ω/m)

L = panjang dari batang pengentanahan (m)

d = diameter batang pengentanahan (m)

Berdasarkan persamaan diatas, dengan menambahkan panjang batang elektroda pentanahan maka tahanan kaki tower akan bernilai kecil. Namun hubungan tersebut tidak akan langsung mencapaissatu titik, dimana penambahan panjang batang pentanahan hanya mengurangi nilai pentanahan kaki tower sedikit. Oleh karena itu penambahan batang elektroda secara paralel mampu mengurangi nilai tahanan kaki tower yang melebihi nilai standar.

Persamaan (2.20) tetap dapat digunakan untuk menghitung tahanan kaki tower dengan mengubah variable “d” menjadi “A” seperti yang ditunjukkan pada persamaan (2.21) hingga persamaan (2.23).

- Penempatan dua batang elektroda yang ditanam tegak lurus

$$A = \sqrt{a} \dots\dots\dots(2.21)$$

- Penempatan tiga batang elektroda yang ditanam tegak lurus

$$A = \sqrt[3]{a^2 r} \dots\dots\dots(2.22)$$

- Penempatan empat batang elektroda yang ditanam tegak lurus

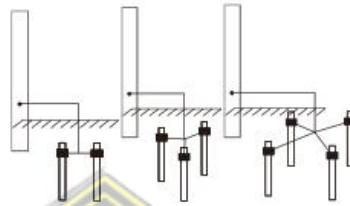
$$A = \sqrt[4]{2^{\frac{1}{2}} a^3 r} \dots\dots\dots(2.23)$$

dengan :

r = jari – jari dari masing – masing batang pentanahan

a = jarak antara batang pentanahan

A = jumlah kelipatan batang



Gambar 2.24 Penempatan Elektroda Dengan Jumlah Tertentu

Gambar 2.24 memperlihatkan cara penempatan batang elektroda dengan jumlah tertentu.

2. Conterpoise

Untuk daerah – daerah yang emiliki lapisan tanah yang keras dan berbatu atau daerah yang memiliki tahanan jenis tanahnya tinggi, batang pentanahan tidak akan efektif jika digunakan. Karenanya menggunakan sistem *counterpoise*, tahanan kaki menara secara teori dapat dihitung dengn menggunakan persamaan (2.24).

$$R = \sqrt{r} \cdot C \quad h \left(L \sqrt{\frac{r}{\rho}} \right) \text{ Ohm} \dots\dots\dots (2.24)$$

dengan :

L = Panjang Kawat (m)

ρ = Tahanan Jenis Tanah (Ω/m)

r = Tahanan Kawat (Ω/m)

Saat surja petir mencapai *counterpoise*, tahanan efektif *counterpoise* tersebut mulanya tinggi, ($\pm 150 \text{ Ohm}$). Tahanan mula ini merupakan impedansi surja dari *counterpoise* [13].

2.2.9 Proteksi SUTET

Proteksi SUTET adalah pengaman instalasi dari gangguan petir, getaran atau stres mekanis yang ditimbulkan oleh angin, ancaman atau kemungkinann gangguan

akibat manusia, gangguan dari luar (tertabrak pesawat udara, terjun payung dan lain-lain) dan juga pengaman dari urat konduktor putus.

A. Pengaman Dari Gangguan Petir

SUTET merupakan instalasi penting yang menjadi target mudah (*easy target*) bagi sambaran petir karena strukturnya yang tinggi dan berada pada lokasi yang terbuka. Sambaran petir pada SUTET merupakan mengalirnya muatan listrik. Aliran muatan listrik menimbulkan kenaikan tegangan pada SUTET, sehingga pada SUTET timbul tegangan lebih berbentuk gelombang impuls dan merambat ke ujung-ujung SUTET. Tegangan lebih akibat sambaran petir sering disebut surja petir.

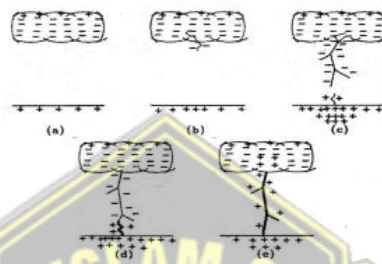
Jika tegangan lebih surja petir tiba di GI, maka tegangan lebih tersebut akan merusak isolasi peralatan GI. Maka perlu dibuat alat pelindung agar tegangan surja yang tiba di Gardu Induk tidak melebihi kekuatan isolasi peralatan Gardu Induk. Dan berikut ini peralatan pengaman atau pelindung dari surja petir :

1. Kawat *Ground Steel Wire* (GSW) / *Optic Ground Wire* (OPGW)
2. Jumper GSW
3. Arching Horn
4. *Transmission Line Arrester* (TLA)
5. Konduktor Penghubung
6. Pentanahan (*Grounding*) [3].

2.2.10 Surja Petir

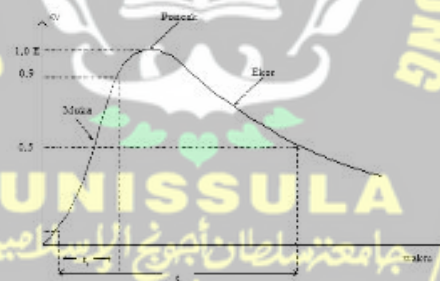
Petir yaitu pelepasan muatan yang terjadi antara awan, didalam awan atau di antara awan dengan tanah. Dimana pada awan terdapat muatan positif dan muatan negative, apabila muatan ini bertemu maka muatan tersebut akan saling tarik menarik sehingga menimbulkan kilat di awan. Juga apabila muatan negative dan muatan negative disatukan maka menjadi tolak menolak dan menimbulkan ledakan / kilat. Bumi merupakan sumber muatan positif maupun negative, jika pelepasan muatan dari petir dekat dengan bumi, maka akan terjadi sambaran petir ke bumi. Bila petir mengenai langsung ke penghantar, kemungkinan besar penghantar tersebut akan putus karena gelombang petir yang menimbulkan tegangan impuls melebihi BIL (*Basic Insulation Level*) dari penghantar. Apabila

petir yang mengenai hantaran bukan sambaran langsung tetapi induksi dari petir, gerak dari gelombang petir itu akan menjalar ke segala arah dengan kata lain terjadi gelombang berjalan sepanjang jaringan yang menuju suatu titik lain yang dapat menetralkan arus petir tersebut yaitu menuju ke titik pentanahan. Gambar 2.25 menunjukkan bagaimana proses terjadinya surja petir saat melepaskan muatannya di bumi.



Gambar 2.25 Proses Terjadinya Surja Petir

Gambar 2.26 merupakan karakteristik standar gelombang surja petir, dimana t_1 menggambarkan waktu muka gelombang dan t_2 menunjukkan waktu ekor gelombang.



Gambar 2. 26 Bentuk Standar Gelombang Surja Petir

Sambaran petir sendiri dibedakan menjadi 2 (dua) :

1. Sambaran Langsung

Sambaran langsung merupakan sambaran petir ke arah fasa konduktor dan penunjang fasa konduktor (tiang). Akan tetapi yang sering terjadi adalah sambaran petir yang langsung menuju fasa konduktor dari sistem tenaga. Hal ini disebabkan oleh kemungkinan (probabilitas) dari sambaran petir menuju fasa konduktor lebih besar.

2. Sambaran Tidak Langsung

Sedangkan sambaran tidak langsung yaitu sambaran petir ke yang terjadi di dekat sistem tenaga. Sambaran tersebut data berupa sambaran petir dari awan ke tanah ataupun sambaran petir dari awan ke awan. Biasanya sambaran petir ini lebih berpengaruh pada saluran tegangan menengah dibandingkan dengan saluran tegangan tinggi. Akibat adanya sambaran ini, timbul medan elektromagnetik yang dapat menginduksikan tegangan pada saluran sistem tenaga [14].

2.2.11 Mekanisme Sambaran Petir

1. Leader

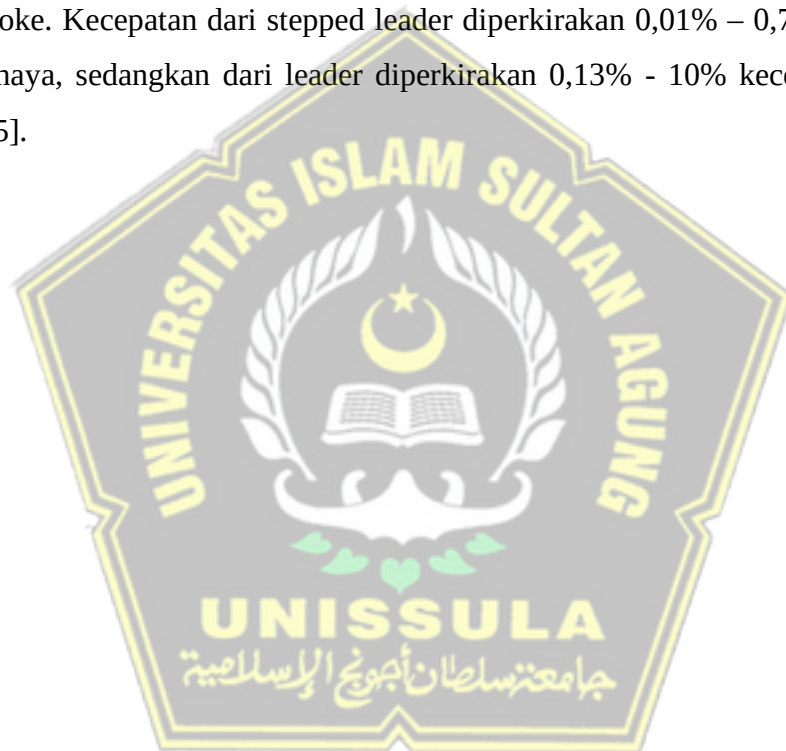
Leader dari suatu kilatan didahului oleh aliran pengemudi yang menentukan arah rambatan muatan dari awan ke udara yang ionisasinya rendah. Setelah aliran pengemudi terjadi, maka diikuti oleh titik cahaya yang bergerak secara melompat – lompat yang disebut dengan stepped leader. Kecepatan stepped diperkirakan 100.000 m/s. Stepped leader memiliki arah langkah yang berubah-ubah, sehingga jalannya tidak lurus dan patah – patah. Ketika lidah kilat menyambar bumi, maka cabang – cabang dari lidah utama kilat akan terbentuk. Apabila stepped leader telah dekat dengan bumi, akan terjadi kanal muatan positif dari bumi ke awan, karena adanya perbedaan potensial yang tinggi. Kanal muatan positif ini bertemu dengan ujung stepped leader, titik pertemuannya disebut dengan point of strike, yang berada pada 20 – 70 meter di atas permukaan bumi. Dan waktu dari stepped leader untuk sampai ke permukaan bumi dibutuhkan 20 m/s.

2. Return Stroke

Saat lidah kilat menyambar bumi, suatu sambaran kembali sangat terang dan bergerak ke atas melalui jalan yang sama. Return stroke terjadi karena aliran muatan negatif dari awan ke bumi. Setelah return stroke yang pertama, biasanya akan mengakibatkan adanya sambaran lainnya karena awan memiliki muatan yang banyak. Arus pada setiap sambaran memiliki nilai rata – rata 20 kA, dan pada keadaan tertentu bisa mencapai 100 kA. Arus tersebut merupakan arus impuls dimana harga puncak dapat dicapai dalam beberapa mikrodetik.

3. Multiple Stroke

Sambaran ini dimulai dengan leader yang mengikuti jalan yang dilalui return stroke sebelumnya. Ciri – cirinya yaitu tidak adanya percabangan dan kecepatannya sangat cepat sekitar 3 % kecepatan cahaya ($C = 1000 \text{ ft/s}$). Karena tidak ada percabangan, hal ini disebut dengan lidah panah (dart leader). Kemudian dari leader akan diikuti dengan return stroke berikutnya. Interval dari return storke sebelumnya dengan dart leader adalah 40 – 50 m/s. Suatu sambaran kilat terdiri dari 4 return stroke, atau bisa saja terdiri dari 10 return stroke. Kecepatan dari stepped leader diperkirakan 0,01% – 0,7 % kecepatan cahaya, sedangkan dari leader diperkirakan 0,13% - 10% kecepatan cahaya [15].

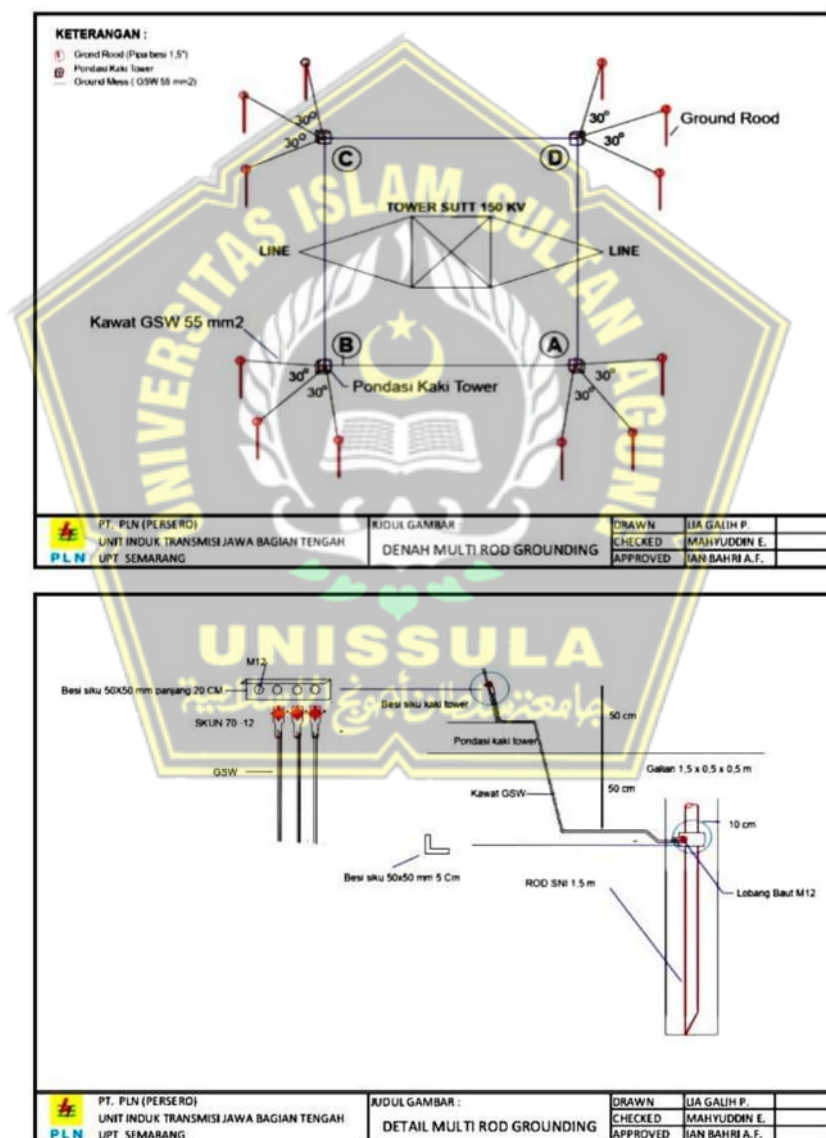


BAB III

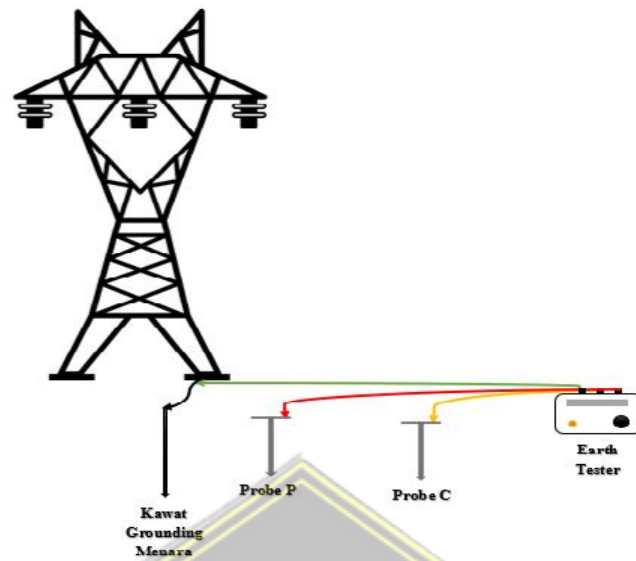
METODE PENELITIAN

3.1 Model Penelitian

Penelitian dilakukan pengukuran tahanan pentanahan kaki menara tower SUTET 500 kV Ungaran – Pemalang 1 dengan jumlah tower sebanyak 170 tower. Model penelitian yang dilakukan adalah dengan pengujian tahanan pentanahan Ungaran – Pemalang 1 seperti Gambar 3.1 dan 3.2 diukur dengan *Earth Tester*.



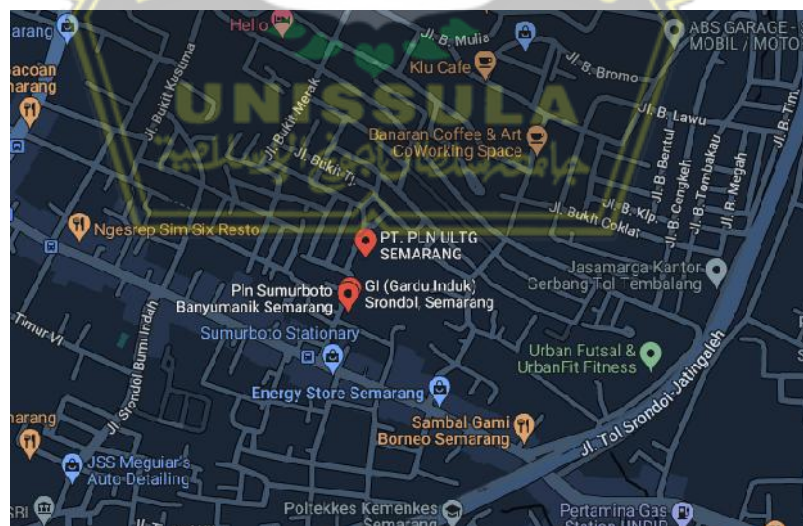
Gambar 3.1 Desain Layout Sistem Pentanahan SUTET 500 kV Ungaran-Pemalang 1



Gambar 3.2 Model Pengujian Sistem Pentanahan SUTET 500 kV Ungaran - Pemalang 1

3.2 Objek Penelitian

Objek penelitian mengambil lokasi di PT.PLN ULTG (Unit Layanan Transmisi Gardu Induk) Semarang, yang berlokasi pada Jalan Ngesrep Tim.V Nomer 41, Semarang. Gambar 3.3 menunjukkan objek penelitian sistem pentanahan Ungaran – Pemalang 1.



Gambar 3.3 Objek Penelitian Sistem Pentanahan SUTET 500 kV Ungaran-Pemalang 1

3.3 Alat Dan Peralatan Dalam Penelitian

Penelitian ini terdapat beberapa peralatan yang dibutuhkan untuk mengukur dan mempermudah penyusunan Tugas Akhir, yang meliputi :

1. Earth Tester

Earth Tester merupakan alat yang digunakan untuk mengukur tahanan pembumian. Standar tahanan pembumian menurut PUIL 2011 adalah $< 5 \Omega$. Earth Tester dilengkapi dengan terminal parameter pengujian yang terdiri dari E (Earth), P (Potensial), C (Current), setiap terminal parameter pengujian memiliki warna kabel yang berbeda yaitu E (bewarna hijau), P (bewarna kuning), dan C (bewarna merah). Untuk mengukur tahanan pembumian menggunakan Earth Tester yaitu dengan cara menghubungkan kabel konektor E, P, C ke pasak yang sudah di tancapkan ke tanah, kemudian perlu memperhatikan jarak masing – masing pasak yaitu 5 meter hingga 10 meter, Gambar 3.4 menunjukkan Earth Tester yang digunakan untuk pengukuran [16].



Gambar 3.4 Earth Tester Kyoritsu Model 4105A

Earth Tester yang digunakan yaitu menggunakan Earth Tester Kyoritsu Model 4105A. Tabel 3.1 Spesifikasi dari Digital Earth Tester Kyoritsu Model 4105A :

Tabel 3.1 Spesifikasi Digital Earth Tester Kyoritsu KEW 4105A [17]

	4105A	4105A-H
Measurement Range	Earth Resistance : 0-20 Ω /0-200 Ω /0-2000 Ω Earth voltage (50,60Hz) : 0-200V AC	
Accuracy	Earth resistance : $\pm 2\% \text{rdg} \pm 0.1 \Omega$ (20 Ω range), $\pm 2\% \text{rdg} \pm 3 \text{dgt}$ (200 Ω /2000 Ω range) Earth voltage : $\pm 1\% \text{rdg} \pm 4 \text{dgt}$	
Overload Protection	Earth resistance : 280V AC for 10 seconds across 2 of the 3 terminals Earth voltage : 300V AC for 1 minute	
Applicable Standards	IEC61010-1 CAT III 300V Pollution degree 2, IEC61557-1,5 IEC61010-031, IEC60529 (IP54)	
Power Source	R6/LR6(AA)(1.5) x 6	
Dimension	105 (L) x 158 (W) x 70 (D) mm	
Weight	550 g approx	
Accessories	7095A (Earth resistance test leads) x 1 set (red-20m, yellow-10m, green-5m) 8032 (Auxillary earth spikes) x 1 set 7127A (Simplified measurement probe) x 1 set 9121 (shoulder strap), R6(AA) x 6, Instruction manual	
	Carrying case 9084 (soft)	Carrying case 9165 (Hard)
Optional	7100A (Precision measurement cord set) 8259 (Adapter for measurement terminal)	

3.4 Prosedur

Pengumpulan data pada tahap ini dilakukan dengan mengambil data di PT.PLN (Persero) ULTG Semarang untuk mendapatkan data kondisi area, data sistem pentanahan. Pada tahap ini, juga melakukan survei sebagai berikut :

1. Pada saat di PT.PLN (Persero) ULTG Semarang melakukan pengambilan data parameter menara transmisi yang meliputi panjang menara, lebar menara, dan tinggi menara transmisi.
2. Pada saat di PT.PLN (Persero) ULTG Semarang melakukan pengambilan data parameter sistem pentanahan yang meliputi resistansi pentanahan, resistansi

jenis tanah rata – rata, luas area pentanahan, jumlah konduktor rod, panjang konduktor rod/batang, kedalaman penanaman konduktor, jenis kawat konduktor, diameter batang pentanahan, jarak antar konduktor, panjang sisi grid.

3. Pada saat di PT.PLN (Persero) ULTG Semarang melakukan pengambilan data pengujian tahanan pentanahan SUTET 500 kV.

Menara transmisi SUTET 500 kV Ungaran–Pemalang 1 memiliki parameter menara transmisi seperti yang ditunjukkan pada Tabel 3.2.

Tabel 3.2 Data Parameter Menara Transmisi SUTET 500 kV Ungaran–Pemalang 1

Panjang Tower	Lebar Tower	Tinggi Tower	Panjang Traves to Traves
(m)	(m)	(m)	(m)
20	20	42	30

Tabel 3.2 merupakan tabel yang berisikan parameter pentanahan yang diperlukan untuk melakukan perhitungan dan analisa mengenai evaluasi nilai tahanan pentanahan pada menara SUTET 500 kV untuk mendapatkan nilai yang di cari.

Tabel 3.3 Data Pentanahan Menara SUTET 500 kV Ungaran-Pemalang 1

NO.	PARAMETER	KETERANGAN
1.	Resistansi Pentanahan	0,3 Ω
2.	Resistansi Jenis Tanah Rata – Rata	100 Ω
3.	Luas Area Pentanahan	25 X 25 m
4.	Jumlah Konduktor Rod	12 Buah
5.	Panjang Konduktor Rod/Batang	5 m
6.	Kedalaman Penanaman Konduktor	2 m

NO.	PARAMETER	KETERANGAN
7.	Jenis Kawat Konduktor	- Kawat As (Alumunium Stell) = 70 mm ² - Kawat Gsw = 55 mm ²
8.	Diameter Batang Pentanahan	1.5 inci = 3.81 cm
9.	Jarak Antar Konduktor	3 – 5 m
10.	Panjang Sisi Grid	20 m

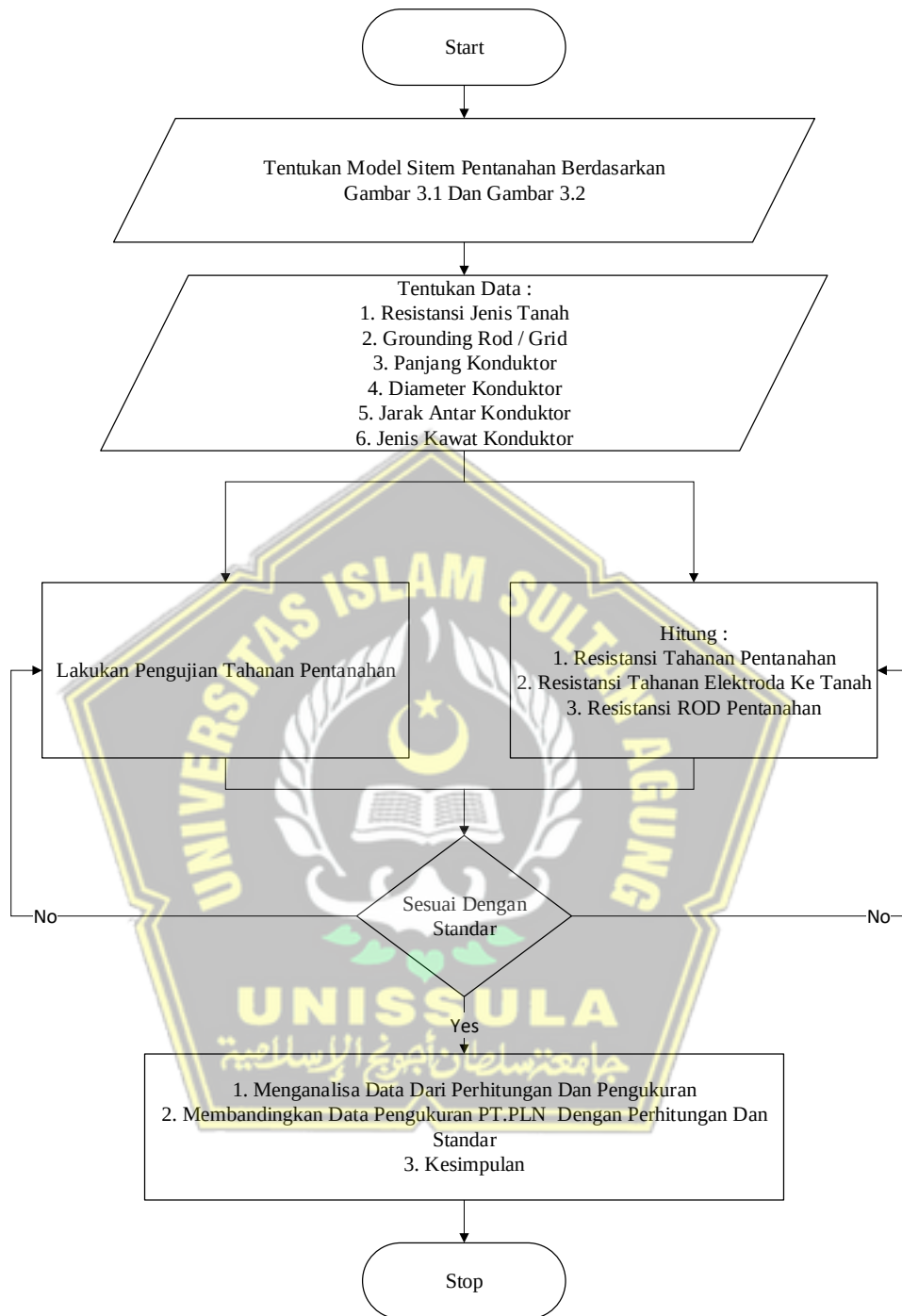
Selanjutnya pada Tabel 3.4 merupakan data pengujian tahanan pembumian menara SUTET 500 kV Ungaran-Pemalang 1 yang diukur dengan menggunakan alat *Earth Tester*. Pengujian tahanan pembumian tersebut dilakukan dengan tidak melepas arde yang masih terpasang pada kaki menara, sehingga dikatakan pengujian tahanan pembumian tersebut secara gabungan atau grounding bersama. Dan letak menara SUTET tersebut berada di area persawahan atau memiliki jenis tanah merah perkebunan, sehingga nilai resistansi rata – rata 100 Ω sesuai dengan aturan PUIL 2011 dapat dilihat pada Tabel 2.1.

Tabel 3.4 Pengujian Tahanan Pembumian Menara SUTET 500 kV Ungaran-Pemalang 1

No. Tower	Nilai Resistansi Grounding (Ω)				Tahanan Kaki Tower	Grounding Bersama (Ω)
	Leg A	Leg B	Leg C	Leg D		
443	21	10	27.5	33.5	2.76	4.52
444	1.17	2.23	1.12	86.9	3.9	1.17
448	18.2	5.51	1.2	3.9	2.67	1.08

3.5 Tahapan Penelitian

Penelitian Tugas Akhir ini dilaksanakan dalam beberapa tahapan, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3.5.



Gambar 3. 5 Flowchart Penelitian

BAB IV

HASIL PEMBAHASAN

4.1 Hasil Penelitian

Merujuk model penelitian sesuai Gambar 3.1 dan 3.2 bahwa menara SUTET 500 Kv tersebut menggunakan model multiple ground rod yang dihubungkan paralel dan memiliki parameter – parameter data sesuai Tabel 3.3 yang nantinya akan dilakukan untuk proses analisa, perhitungan serta perbandingan perbaikan nilai tahanan kaki menara agar sesuai dengan standar 10 Ω

Penelitian pada jalur transmisi tower Saluran Udara Tegangan Ekstra Tinggi (SUTET) 500 kV Ungaran – Pemalang 1 memiliki tower yang berjumlah 170 tower. Setiap menara mempunyai 4 (empat) kaki yaitu kaki A, B, C dan D, setiap kaki menara tersebut memiliki elektroda yang dibumikan atau dipentanhakan.

4.2 Pengujian Tahanan Pentanahan

Pengujian tahanan pentanahan menggunakan alat ukur yang dinamakan *earth tester* digital kyoritsu dengan model 4105A dengan skala ukur sebesar 20 Ω . Pengukuran tahanan pembumian Saluran Udara Tegangan Ekstra Tinggi (SUTET) 500 kV Ungaran – Pemalang 1 dilakukan dengan cara pengukuran gabungan pada kaki tower dan pengukuran pada setiap kaki menara a-b dan c-d, dari 170 tower SUTET 500 kV, 3 (tiga) tower diantaranya memiliki nilai pentanahan yang melebihi nilai standar maksimum yaitu kaki menara nomor 443, 444, dan kaki menara nomor 448. Namun pada nomer tower 444 Leg D memiliki nilai tahanan yang sangat tinggi seperti yang ditunjukkan Tabel 4.1. Untuk melindungi saluran menara transmisi tower dari sambaran petir maka dibutuhkan kawat penghantar yang dipasang pada bagian atas tower maupun pada kaki tower, kawat penghantar tersebut berguna untuk mengurangi nilai tahanan bumi agar tidak melebihi standar. Umumnya menara transmisi dipasang berbentuk bujur sangkar seperti Gambar 3.2, kemudian kawat GSW dan tahanan kaki menara dihubungkan dengan besi siku atau ground bus secara paralel. Untuk mendapatkan tanahan pentanahan maka kawat GSW dihubungkan dengan elektroda batang (grounding rod) yang memiliki diameter 1.5 inc dengan panjang 5 m dan ditanam pada kedalaman 2 m.

Tabel 4.1 Nilai Tahanan Pentanahan Menara SUTET 500 kV Ungaran-Pemalang 1 Yang Melebihi Nilai Standar

No. Tower	Nilai Resistansi Grounding (Ω)				Tahanan Kaki Tower	Grounding Bersama (Ω)
	Leg A	Leg B	Leg C	Leg D		
444	1.17	2.23	1.12	86.9	3.9	1.17

Berdasarkan Tabel 4.1 dapat dilihat bahwa menara tower nomor 444 memiliki tahanan yang sangat tinggi yaitu sebesar 86.9 Ω . Nilai tersebut memiliki nilai diatas standar yaitu 10 Ω . Tingginya tahanan pentanahan tersebut dikarenakan adanya beberapa faktor seperti tower berlumut atau kotor, kawat penghantar yang berkarat, kondisi groun rod yang menurun, perubahan resivitas tanah dan lain sebagainya.

4.3 Analisa Perhitungan Tahanan Kaki Menara 3 Batang Elektroda (Multiple Ground Rod)

Meninjau lokasi tower yang memiliki jenis tanah, tanah merah perkebunan maka dapat diasumsikan memiliki tahanan jenis tanah sebesar 100 Ω /m sesuai dengan Tabel 2.1. Untuk itu perhitungan 3 (tiga) batang elektroda yang ditanam ke dalam tanah dengan nilai tahanan jenis yang sudah diketahui serta jarak setiap elektroda 3 m – 5 m. Dengan menggunakan acuan Tabel 4.1 maka dapat dihitung menggunakan persamaan 2.20 dan 2.22, serta menggunakan parameter seperti Tabel 3.3 dengan $\rho = 100 \Omega$, $L = 5$ m, $d = 0.0381$, $r = 0.01905$ m, $a = 3$ m, 4m, 5m.

J) Jarak antar batang 3 m

$$\begin{aligned}
 A &= \sqrt[3]{a^2 r} \\
 &= \sqrt[3]{3^2 \cdot 0.01905} \\
 &= 0.55 \\
 R_1 &= \frac{\rho}{2\pi} \left(l \frac{2L}{A} \right) \\
 &= \frac{1}{2.3,1 \cdot 5} \left(l \frac{2.5}{0.5} \right) \\
 &= 9.22 \Omega
 \end{aligned}$$

Karena setiap kaki menara dipasang 3 (tiga) batang elektroda yang dipasang paralel, maka tahanan pentanahan untuk setiap kaki menara dapat dihitung sebagai berikut ini :

$$\begin{aligned}
 1. \quad \frac{1}{R_{p1}} &= \frac{1}{R_{p1}} + \frac{1}{R_{p1}} + \frac{1}{R_{p1}} \\
 \frac{1}{R_{p1}} &= \frac{1}{9.22} + \frac{1}{9.22} + \frac{1}{9.22} \\
 \frac{1}{R_{p1}} &= \frac{3}{9.22} \\
 R_{p1} &= \frac{9.22}{3} = 3.07\Omega
 \end{aligned}$$

Tabel 4.2 Hasil Perhitungan Nilai Tahanan yang Menggunakan 3 Batang Elektroda

No. Tower	Nilai Resistansi Grounding (Ω)	Tahanan Pentanahan (Ω)		
	Leg D	3 Meter	4 Meter	5 Meter
444	86.9	3.07	2.83	2.7

Tabel 4.2 menunjukkan hasil perhitungan dengan menggunakan 3 batang elektroda dengan jarak antar batang 3 m didapatkan $R_1 = 3.07 \Omega$, jarak antar batang 4 m $R_2 = 2.83 \Omega$, dan yang terakhir dengan jarak batang 5 m maka didapatkan $R_3 = 2.7 \Omega$.

4.4 Analisa Perhitungan Nilai Tahanan Kaki Menara 4 Batang Elektroda

Upaya untuk mengecilkan nilai tahanan pentanahan yaitu dengan menggunakan menggunakan satu batang, dua batang, tiga batang atau empat batang elektroda atau lebih, dengan panjang elektroda 5 meter yang berdiameter 1.5 inc (0.0381 m), dan jarak penanaman elektroda dari 3 m hingga 5 m. Untuk perhitungan tahanan kaki menara yang terletak di tanah merah perkebunan diperlukan penambahan batang elektroda yaitu menggunakan 4 batang elektroda. Dengan menggunakan acuan Tabel 4.1 maka dihitung menggunakan persamaan 2.23 dengan menggunakan variable $\rho = 100\Omega/\text{m}$, $L = 5\text{m}$, $d = 0.0381$, $r = 0,01905 \text{ m}$, $a = 3 \text{ m}$, 4m , 5m dan tanah dianggap homogen.

) Jarak antar batang 3 m

$$\begin{aligned}
 A &= \sqrt[4]{2 \frac{1}{2} a^3 r} \\
 &= \sqrt[4]{2 \frac{1}{2} 3^3 \times 0.01905} \\
 &= 1.06 \\
 R_1 &= \frac{\rho}{2\pi} \left(l \frac{2L}{A} \right) \\
 &= \frac{1}{2.3,1 \cdot 5} \left(l \frac{2.5}{1.0} \right) \\
 &= 7.12 \, \Omega
 \end{aligned}$$

Karena setiap kaki menara dipasang 4 (empat) batang elektroda yang dipasang paralel, maka tahanan pentanahan untuk setiap kaki menara dapat dihitung sebagai berikut ini :

$$\begin{aligned}
 1. \quad \frac{1}{R_{p1}} &= \frac{1}{R_{p1}} + \frac{1}{R_{p1}} + \frac{1}{R_{p1}} + \frac{1}{R_{p1}} \\
 \frac{1}{R_{p1}} &= \frac{1}{7.12} + \frac{1}{7.12} + \frac{1}{7.12} + \frac{1}{7.12} \\
 \frac{1}{R_{p1}} &= \frac{4}{7.12} \\
 R_{p1} &= \frac{7.12}{4} = 1.78 \, \Omega
 \end{aligned}$$

Tabel 4.3 Hasil Perhitungan Nilai Tahanan yang Menggunakan 4 Batang Elektroda

No. Tower	Nilai Resistansi Grounding (Ω)	Tahanan Pentanahan (Ω)			
		Leg D	3 Meter	4 Meter	5 Meter
444	86.9		1.78	1.605	1.47

Tabel 4.3 perhitungan diatas dengan menggunakan 4 batang elektroda dapat dikatakan sudah memenuhi standar yang telah ditentukan yaitu dibawah 10 Ω .

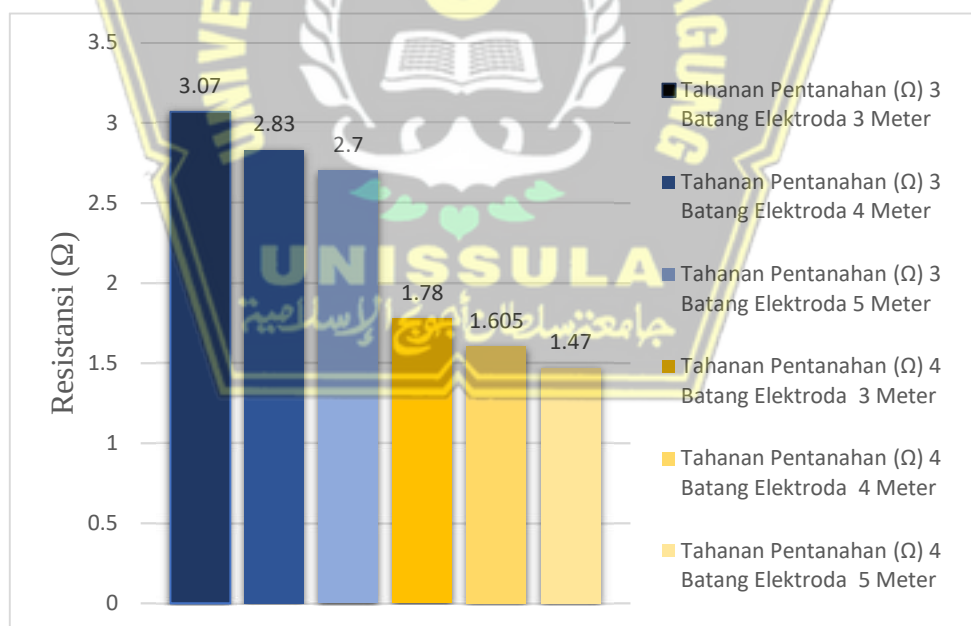
Dengan jarak antar batang 3 m didapatkan $R_1 = 1.78 \, \Omega$, jarak antar batang 4 m $R_2 = 1.605 \, \Omega$ terakhir dengan jarak batang 5 m maka didapatkan $R_3 = 1.47 \, \Omega$.

4.5 Hasil Analisa Pengukuran dengan Perhitungan

Tabel 4.4 Hasil Pengukuran Dengan Perhitungan

No. Tower	Nilai Resistansi Grounding (Ω)	Perhitungan Tahanan Pentanahan (Ω) 3 Batang Elektroda			Perhitungan Tahanan Pentanahan (Ω) 4 Batang Elektroda		
		3 Meter	4 Meter	5 Meter	3 Meter	4 Meter	5 Meter
444	86.9	3.07	2.83	2.7	1.78	1.605	1.47

Tabel 4.4 memperlihatkan hasil dari pengukuran dengan perhitungan yang sudah dilakukan pada tower 444 SUTET 500 kV Ungaran-Pemalang 1, dimana dilakukannya penambahan batang elektroda dengan maksud untuk mengurangi atau memperkecil nilai tahanan yang sangat melebihi batas nilai standar 10 Ω .



Grafik 4. 1 Hasil Pengukuran dengan Perhitungan Resistansi Pentanahan

Grafik 4.1 menunjukkan perbandingan antara hasil pengukuran dengan perhitungan. Kemudian dari hasil perbandingan tersebut tower 444 menunjukkan hasil pengukuran yang masih jauh melebihi nilai standar 10 ohm yaitu sebesar 86.9

ohm. Karena hasil pengukuran tersebut sangat ekstrim maka perlu dilakukan evaluasi perhitungan dengan menambahkan 3 hingga 4 batang elektroda agar dapat mereduksi tahanan yang sangat ekstrim tersebut. Dari perhitungan 3 batang elektroda bisa dilihat nilai tahanannya sudah sesuai dengan standar 10 Ω , kemudian pada jarak antar batang 5 meter menunjukkan bahwa nilai tahanannya paling kecil yaitu sebesar 2.7 ohm dibandingkan pada jarak antar batang 3 meter sebesar 3.07 ohm dan 4 meter sebesar 2.83 ohm. Dan pada hasil perhitungan tahanan 4 batang elektroda juga nilai tahanannya sudah sesuai dengan standar 10 Ω , serta pada jarak antar batang 5 meter menunjukkan bahwa nilai tahanannya paling kecil yaitu 1.47 ohm dibandingkan jarak antar batang 3 meter sebesar 1.78 ohm dan 4 meter sebesar 1.605. Hal ini menandakan bahwa semakin banyak batang elektroda yang digunakan maka semakin kecil nilai tahanannya dan semakin baik pula nilai tahanannya, jarak antar elektroda juga mempengaruhi baik buruknya suatu nilai tahanannya.

4.6 Analisa Perbandingan Pengukuran, Perhitungan, dan Standar

Analisa perbandingan berikut bertujuan untuk membandingkan hasil pengukuran, perhitungan dan standar. Hal tersebut berguna untuk mengetahui perbedaan selisih antara hasil pengukuran dan perhitungan terhadap nilai standar pentanahan.

Karena diantara hasil pengukuran dan perhitungan terdapat perbedaan selisih hasil nilai, untuk penggambaran perbandingan selisih hasil pengukuran dan perhitungan tersebut maka akan dibandingkan dalam bentuk presentase (%). Adapun perbandingan dapat dilihat pada Tabel 4.5 hingga Tabel 4.7.

4.6.1 Perbandingan Hasil Pengukuran Dengan Standar

Tabel 4.5 Perbandingan Hasil Pengukuran Dengan Standar

No. Tower	Nilai Resistansi Grounding (Ω)	Presentase Nilai Perbandingan (%) $\frac{a}{1} \times 100$ %
Leg D		
444	86.9	869

Tabel 4.5 merupakan perhitungan presentase nilai perbandingan pengukuran tahanan pentanahan pada tower 444 terhadap standar nilai tahanan 10 Ω . Yang didapati hasilnya sebesar 869 %.

4.6.2 Perbandingan Hasil Perhitungan 3 Batang Elektroda Dengan Standar

Tabel 4.6 Perbandingan Hasil Perhitungan 3 Batang Elektroda Dengan Standar

No. Tower	Perhitungan Tahanan Pentanahan (Ω) 3 Batang Elektroda			Presentase Nilai Perbandingan (%) $\frac{a}{1} \times 1$ %		
	3 Meter	4 Meter	5 Meter	3 Meter	4 Meter	5 Meter
444	3.07	2.83	2.7	30.7	28.3	27

Tabel 4.6 merupakan perhitungan presentase nilai perbandingan perhitungan tahanan pentanahan menggunakan 3 batang elektroda terhadap standar nilai tahanan 10 Ω . Yang didapati hasilnya pada jarak anatr batang 3 meter sebesar 30.7%, jarak anatar batang 4 meter sebesar 28.3%, dan terakhir jarak anatar batang 5 meter sebesar 27%.

4.6.3 Perbandingan Hasil Perhitungan 4 Batang Elektroda Dengan Standar

Tabel 4.7 Perbandingan Hasil Perhitungan 4 Batang Elektroda Dengan Standar

No. Tower	Perhitungan Tahanan Pentanahan (Ω) 4 Batang Elektroda			Presentase Nilai Perbandingan (%) $\frac{a}{1} \times 1$ %		
	3 Meter	4 Meter	5 Meter	3 Meter	4 Meter	5 Meter
444	1.78	1.605	1.47	17.8	16.05	14.7

Tabel 4.7 merupakan perhitungan presentase nilai perbandingan perhitungan tahanan pentanahan menggunakan 4 batang elektroda terhadap standar nilai tahanan 10 Ω . Yang didapati hasilnya pada jarak antar batang 3 meter sebesar 17.8%, jarak anatar batang 4 meter sebesar 16.5%, dan terakhir jarak anatar batang 5 meter sebesar 14.7%.

BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian dan pembahasan di atas dapat disimpulkan :

1. Sistem pentanahan pada kaki menara saluran udara tegangan ekstra tinggi (SUTET) 500kV Ungaran – Pemalang menggunakan sistem pentanahan *MultipleRod*, dan terdiri dari 170 menara tower namun pada 3 (tiga) tower memiliki nilai tahanan diatas standar 10Ω , yaitu menara tower nomor 443, 444 dan 448.
2. Dari pengukuran ke-3 tower yang memiliki nilai tahanan pentanahan diatas standar 10Ω yang di hubungkan secara paralel, kaki menara nomor 444 memiliki hasil pengujian Leg D = 86.9Ω , memiliki nilai tahanan yang sangat tinggi.
3. Semakin banyak jumlah elektroda batang yang digunakan dan disusun secara paralel maka dapat mereduksi tingginya resistansi pentanahan sehingga sesuai dengan nilai standar 10Ω .
4. Semakin jauh jarak antar batang yang disusun secara paralel maka akan semakin kecil pula resistansi pentanahanya.
5. Dari analisa presentase perbandingan pengukuran, perhitungan dan standar, banyaknya jumlah elektroda batang yang disusun secara paralel lebih berpengaruh terhadap tinggi rendahnya suatu resistansi pentanahan dibandingkan dengan jauhnya jarak antar batang yang disusun secara paralel.

5.2 Saran

Berdasarkan hasil penelitian dan pembahasan di atas dapat disarankan :

1. Segera melakukan perbaikan oleh pihak PT. PLN (Persero) ULTG Semarang, terhadap pentanahan tower yang memiliki nilai diatas standar.
2. Melakukan perawatan dan perbaikan secara berkala sesuai dengan SPLN, serta diperlukannya perhitungan sistem keandalan penyulang untuk saluran udara tegangan ekstra tinggi (SUTET) 500kV Ungaran – Pemalang 1.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] S. Suropto, "Buku Ajar Sistem Tenaga Listrik," *Univ. Muhammadiyah Yogyakarta*, pp. 1–59, 2016.
- [2] S. Bartien, "Puil 2011," *DirJen Ketenagalistrikan*, vol. 2011, no. PUIL, pp. 1–133, 2011.
- [3] I. Bab, F. Dan, F. Mode, and E. Analysis, "Daftar isi."
- [4] T. T. Listrik and M. C. Buwono, "Teknik Tenaga Listrik Transmission of Electrical Energy," 2010.
- [5] U. S. Utara, "Universitas Sumatera Utara," 2018.
- [6] Z. Amd, "Dasar Teori Pentanahan." Accessed: Mar. 11, 2022. [Online]. Available: https://www.academia.edu/32994916/Dasar_Teori_Pentanahan.
- [7] S. N. Indonesia and B. S. Nasional, "Persyaratan Umum Instalasi Listrik 2011," vol. 2011, no. Puil, 2011.
- [8] A. Tahanan, P. Tower, and P. D. A. N. U. Menurunkan, "Program Diploma Iii Teknologi Listrik Institut Teknologi Pln Proyek Akhir Analisis Tahanan Pentanahan Tower Sutt 150 Kv Pulomas-Gambir Dan Usaha Menurunkan," 2020.
- [9] S. Dinyanti, "Digital Repository Repository Universitas Universitas Jember Jember Digital Digital Repository Repository Universitas Universitas Jember Jember," *Digit. Repos. Univ. Jember*, no. September 2019, pp. 2019–2022, 2021.
- [10] "ELEKTRO INDONESIA - PLTN: Faktor Pencemaran Lingkungan dan Gangguan Kesehatan." <https://www.elektroindonesia.com/elektro/ener15a1.html> (accessed Aug. 23, 2022).
- [11] B. A. B. li and D. Teori, "No Title," pp. 5–19, 2015.
- [12] "Mengakibatkan Backflashover Pada Saluran," 2017.
- [13] M. Haddin, "Pentanahan menara transmisi."
- [14] I. Hajar, E. Rahman, and T. Elektro, "KAJIAN PEMASANGAN LIGHTNING ARRESTER PADA SISI HV TRANSFORMATOR DAYA UNIT SATU."

- [15] I. I. T. Penunjang, D. Substation, G. Kv, P. Gangguan, and P. Saluran, “I i . teori penunjang 1.”
- [16] D. Bina, S. Kompetensi, and D. A. N. Pelatihan, “Buku informasi memasang sistem pembumian ktl.ik02.108.01,” pp. 1–33, 2015.
- [17] “KEW4105A-2E.pdf.” .

