

SKRIPSI

**“SIMULASI METODE *COUNTER POISE* UNTUK MEMPERBAIKI
NILAI PENTANAHAN PADA TOWER JALUR SUNGGUMINASA -
BOLLANGI”**



DWIKY DARMAWAN

105821101317

**PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH MAKASSAR**

2025

SKRIPSI

**“SIMULASI METODE *COUNTER POISE* UNTUK MEMPERBAIKI
NILAI PENTANAHAN PADA TOWER JALUR SUNGGUMINASA -
BOLLANGI”**

Tugas Akhir

Diajukan Sebagai Salah Satu Syarat Untuk Memperoleh gelar Sarjana

Teknik Program Studi Teknik Elektro

Fakultas Teknik

DWIKY DARMAWAN

105821101317

PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH MAKASSAR

2025



بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

HALAMAN PENGESAHAN

Tugas Akhir ini diajukan untuk memenuhi syarat ujian guna memperoleh gelar Sarjana Teknik (ST) Program Studi Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Makassar.

Judul Skripsi : **SIMULASI METODE COUNTER POISE UNTUK MEMPERBAIKI NILAI PENTANAHAN PADA TOWER JALUR SUNGGUMINASA - BOLLANGI**

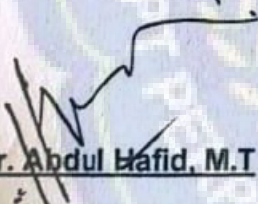
Nama : 1. Dwiky Darmawan

Stambuk : 1. 105 82 11013 17

Makassar, 27 Agustus 2025

Telah Diperiksa dan Disetujui
Oleh Dosen Pembimbing;

Pembimbing I

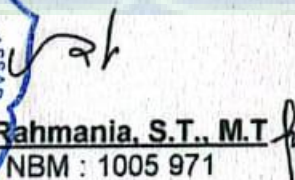

Ir. Abdul Hafid, M.T

Pembimbing II


Dr. Ir. Zahir Zainuddin, M.Sc

Mengetahui,
Ketua Prodi Teknik Elektro




Ir. Rahmania, S.T., M.T
NBM : 1005 971





MAJELIS PENDIDIKAN TINGGI PIMPINAN PUSAT MUHAMMADIYAH
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH MAKASSAR
FAKULTAS TEKNIK



بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

PENGESAHAN

Skripsi atas nama **Dwiky Darmawan** dengan nomor induk Mahasiswa 105 82 11013 17, dinyatakan diterima dan disahkan oleh Panitia Ujian Tugas Akhir/Skripsi sesuai dengan Surat Keputusan Dekan Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Makassar Nomor : 0005/SK-Y/20201/091004/2025, sebagai salah satu syarat guna memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Makassar pada hari Sabtu 23 Agustus 2025.

Panitia Ujian :

1. Pengawas Umum

Makassar,

04 Rabiul Awwal 1447 H

27 Agustus 2025 M

a. Rektor Universitas Muhammadiyah Makassar

Dr. Ir. H. Abd. Rakhim Nanda, ST., MT., IPU

b. Dekan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin

Prof. Dr. Eng. Muhammad Isran Ramli, S.T., M.T., ASEAN, Eng

2. Penguji

a. Ketua : Dr. Eng. Ir. H. Zulfajri Basri Hasanuddin, M.Eng

b. Sekretaris : Lisa Fitriani Ishak, ST., MT

3. Anggota

1. Prof. Dr. Ir. Hj. Hafsah Nirwana, M.T

2. Dr. Ir. Ridwang, S.Kom., MT

3. Andi Fajaruddin, ST., MT

Mengetahui :

Pembimbing I

Pembimbing II

Ir. Abdul Hafid, M.T

Dr. Ir. Zahir Zainuddin, M.Sc



Dekan

Ir. Muhammad Syafa'at S Kuba, S.T., M.T., IPM

NBM : 975 288



ABSTRAK

Dwiky Darmawan, 105821101317. 2025. Simulasi Metode *Counter Poise* Untuk Memperbaiki Nilai Pentanahan Pada Tower Jalur Sungguminasa - Bollangi, Skripsi, dibimbing oleh **Abdul Hafid** dan **Zahir Zainuddin**. Penelitian ini membahas penerapan simulasi metode *counterpoise* untuk meningkatkan kualitas sistem pentanahan pada tower jalur transmisi Sungguminasa–Bollangi 150 kV, khususnya pada Tower 134 yang mengalami permasalahan nilai tahanan pentanahan melebihi standar. Gangguan petir pada jalur transmisi dapat menyebabkan gangguan besar pada sistem kelistrikan, salah satunya *back flashover* akibat tingginya resistansi pentanahan. Metode penelitian dilakukan melalui pengumpulan data teknis PLN, observasi lapangan, serta pengukuran langsung menggunakan Earth Tester pada Tower 132–140. Selanjutnya dilakukan simulasi teknis metode *counterpoise* untuk menurunkan nilai tahanan pentanahan. Data dianalisis menggunakan pendekatan kuantitatif berdasarkan hasil pengukuran aktual dan perhitungan resistansi dengan variasi jumlah dan panjang elektroda. Hasil penelitian menunjukkan bahwa nilai tahanan pentanahan awal pada beberapa tower masih dalam batas standar, namun Tower 140 memiliki nilai resistansi 3,22 Ω . Setelah dilakukan perbaikan dengan metode *counterpoise* melalui penambahan empat batang elektroda paralel, nilai resistansi dapat diturunkan hingga kisaran 0,7–0,8 Ω pada tanah sawah, 1,6–1,8 Ω pada tanah liat, dan 2,5–2,6 Ω pada tanah berpasir. Penurunan ini setara dengan 40–80% dari nilai awal. Hasil ini membuktikan bahwa metode *counterpoise* efektif dalam meningkatkan kualitas sistem pentanahan, mengurangi risiko *back flashover*, serta meningkatkan keandalan sistem transmisi listrik.

Kata kunci: *sistem pentanahan, counterpoise, tower transmisi, resistansi tanah, back flashover.*

ABSTRACT

Dwiky Darmawan, 105821101317. 2025. *Simulation of Counter Poise Method to Improve Grounding Values on Towers on the Sungguminasa - Bollangi Line, Thesis, supervised by Abdul Hafid and Zahir Zainuddin.* This research examines the application of the counterpoise method simulation to improve the grounding system of the 150 kV Sungguminasa–Bollangi transmission line towers, particularly Tower 134, which recorded grounding resistance values exceeding the standard. Lightning strikes on transmission lines often cause major disturbances in power systems, one of which is back flashover due to high grounding resistance. The study was conducted through technical data collection from PLN, field observations, and direct measurements using an Earth Tester on Towers 132–140. Subsequently, counterpoise method simulations were performed to reduce grounding resistance values. Data analysis employed a quantitative approach based on actual measurement results and theoretical resistance calculations with variations in electrode number and length. The results indicate that while most towers met the standard limits, Tower 140 exhibited a resistance value of 3.22 Ω . After improvement using the counterpoise method with the installation of four parallel electrodes, the resistance was reduced to approximately 0.7–0.8 Ω in paddy soil, 1.6–1.8 Ω in clay soil, and 2.5–2.6 Ω in sandy soil. This reduction corresponds to 40–80% of the initial value. The findings demonstrate that the counterpoise method is effective in enhancing grounding performance, mitigating the risk of back flashover, and improving the reliability of power transmission systems.

Keywords: grounding system, counterpoise method, transmission tower, soil resistance, back flashover.

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kehadirat Allah SWT yang senantiasa melimpahkan Rahmat dan Hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan proposal ini dengan sebaik mungkin . Selawat dan salam semoga senantiasa dicurahkan kepada Nabi Muhammad SAW, keluarga, sahabat dan para pengikutnya.

Skripsi ini disusun sebagai salah satu persyaratan yang harus ditempuh dalam rangka penyelesaian program studi pada jurusan Elektro Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Makassar. Adapun judul Proposal kami adalah:

“SIMULASI METODE *COUNTER POISE* UNTUK MEMPERBAIKI NILAI PENTANAHAN PADA TOWER JALUR SUNGGUMINASA - BOLLANGI”

Penulis menyadari bahwa dalam penyusunan skripsi ini mendapat banyak bantuan, bimbingan, saran-saran dari berbagai pihak, sehingga penyusunan skripsi ini dapat berjalan dengan lancar. Oleh karena itu, dalam kesempatan ini penulis ingin menyampaikan ucapan terima kasih kepada:

1. Dr. Ir. Abd.Rakhim Nanda, ST., MT., IPU Selaku Rektor Universitas Muhammadiyah Makassar.
2. Bapak Ir. Muhammad Syafaat S. Kuba, S.T., M.T Selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Makassar.
3. Ibu Ir. Rahmania, S.T., M.T., Selaku Ketua Prodi Elektro Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Makassar.
4. Ir. Abdul Hafid, S.T.,M.T.. Selaku Pembimbing I dan Bapak Zahir Zainuddin

, S.T., M.T. selaku Pembimbing II yang telah banyak meluangkan waktunya dalam membimbing kami.

5. Bapak/ Ibu Dosen serta Staf Fakultas Teknik atas segala waktunya telah mendidik dan melayani kami selama mengikuti proses belajar mengajar di Universitas Muhammadiyah Makassar.
6. Ayah dan ibu tercinta, kami mengucapkan banyak terimakasih yang sebesar-besarnya atas segala limpahan kasih sayang, doa dan pengorbanan terutama dalam bentuk menteri dalam menyelesaikan kuliah.
7. Saudara-saudaraku serta rekan-rekan mahasiswa Fakultas Teknik terkhususnya Koordinat 2017 dan selembaga Fakultas Teknik yang dengan keakraban dan persaudaraan banyak membantu dalam menyelesaikan skripsi ini.

Makassar, 15 September 2025

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN SAMPUL	i
HALAMAN JUDUL.....	ii
HALAMAN PENGESAHAN	iii
PENGESAHAN	iv
ABSTRAK.....	v
ABSTRACT	vi
KATA PENGANTAR	viii
DAFTAR ISI.....	x
DAFTAR TABEL.....	xii
DAFTAR GAMBAR	xiii
BAB I PENDAHULUAN	
A. Latar Belakang Masalah.....	1
B. Rumusan Masalah.....	3
C. Tujuan Penelitian	4
D. Manfaat Penelitian.....	4
E. Batasan Masalah	5
F. Sistematika Penulis	5
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	
A. Pengertian Petir Dan <i>Grounding Sistem</i>	6
1. Pengertian Petir	6
2. Pengertian Sistem Pembumian.....	9
B. Saluran Udara Transmisi Tenaga Listrik	9
C. Isolator.....	10
D. Standar dan Jenis Pentanahan Kaki Tower Saluran Udara Tegangan	

Tinggi (SUTT)	13
E. Pengukuran Tahanan Pentanahan.....	17
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	
A. Waktu Dan Tempat Penelitian.....	21
B. Alat Dan Bahan.....	22
C. Teknik Pengumpulan Data.....	23
D. Teknik Analisa Data	24
E. Prosedur Penelitian	25
BAB IV HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN	
A. Lokasi Pengukuran.....	26
B. Pengukuran Resistansi <i>Grounding</i>	26
C. Data Pengukuran Pentanahan... ..	28
D. Analisa Data Pengukuran Dengan Perhitungan... ..	30
BAB V PENUTUP	
A. Kesimpulan	40
B. Saran	41
DAFTAR PUSTAKA.....	42
LAMPIRAN.....	43

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1 Topologi Jaringan Transmisi ULTG Panakkukang	3
Gambar 2.1 Ilustrasi Sambaran Petir Pada Tower Transmisi.....	7
Gambar 2.2 Saluran Udara Tegangan Tinggi (SUTT).....	11
Gambar 2.3 Isolator Keramik	12
Gambar 2.4 Isolator Kaca.....	12
Gambar 2.5 Isolator Karet.....	13
Gambar 2.6 Isolator Porselen	13
Gambar 2.7 Isolator Polimer	14
Gambar 2.8 Elektroda Batang Ditanamkan Tegak Lurus	16
Gambar 2.9 Earth Tester	19
Gambar 2.10 Bagian-Bagian Earth Tester	19
Gambar 2.11 Ilustrasi Pengukuran dengan <i>Earth Tester</i>	20
Gambar 3.1 <i>Blog diagram</i>	26
Gambar 4.1 Ilustrasi Pengukuran dengan <i>Earth Tester</i>	28
Gambar 4.2 Layout Pemasangan <i>Counter poise</i> Pada Tower .134	36

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Tahanan Jenis Tanah	20
Tabel 3.1	Tahap Pengumpulan Data.....	22
Tabel 4.1	Data Hasil Pengukuran Nilai Tahanan Pentanahan	29
Tabel 4.2	Pengukuran Perbaikan Nilai Tahanan Pentanahan Tower .134 Menggunakan Alat Pengukur.....	37



BAB I

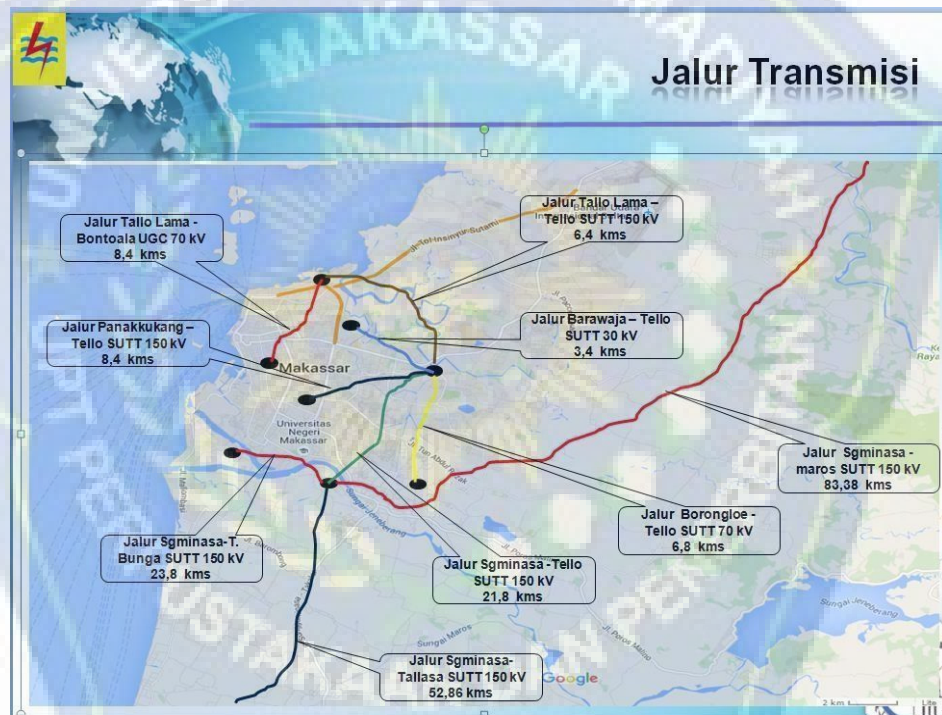
PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Di era teknologi kontemporer, energi listrik sangat penting untuk menopang kehidupan manusia. Konsumsi listrik meningkat baik di sektor industri maupun perumahan. (Ashar, Sofyan, & Abshar, 2020). Ada prosedur panjang yang terlibat dalam memproduksi listrik yang dapat digunakan, yang dimulai dengan pembangkitan dan berakhir dengan pengiriman ke pelanggan melalui jalur transmisi. Karena alasan ini, jalur transmisi sangat penting untuk menyalurkan listrik ke rumah dan bisnis. Listrik sebagian besar didistribusikan melalui saluran transmisi dari generator ke gardu induk dan pelanggan akhir (Idris et al., 2021).

Selama distribusi, sistem distribusi energi dapat mengalami gangguan karena berbagai hambatan medan. Gangguan pada jalur transmisi dapat disebabkan oleh sambaran petir. Kami akan memeriksa gangguan petir ini nanti. Karena ketinggian dan lokasinya di area terbuka, instalasi jalur transmisi sering kali disambar petir. Petir dapat menyebabkan muatan listrik yang signifikan menumpuk di jalur transmisi bawah tanah (SUTT). Impuls tegangan ekstra berjalan di sepanjang SUTT sebagai akibat dari perubahan tegangan pada kabel udara tegangan tinggi yang disebabkan oleh masuknya muatan listrik. Flashover terbalik dapat disebabkan oleh hambatan atau pentanahan Menara (Noviarga, 2020).

Metode pentanahan penyeimbang telah dikaji pengaruhnya terhadap tahanan pentanahan menara SUTT 70 kV jalur Mandai-Pangkep. Untuk memudahkan perhitungan, penelitian ini menggunakan perangkat lunak MATLAB R 2016 yang memiliki Graphical User Interface (GUI). Berdasarkan hasil penelitian, nilai resistansi pentanahan menara 70 mengalami perubahan sebesar 73,44%, dari 6,93 Ω menjadi 1,84 Ω dan nilai resistansi pentanahan menara 134 mengalami perubahan sebesar 76,33%, dari 10,14 Ω menjadi 2,4 Ω (Prasetyo & Harijanto, 2022).



Gambar 1.1 Topologi Jaringan Transmisi ULTG Panakkukang
(sumber : PLN ULTG Panakkukang)

Gangguan yang cukup besar terjadi di sepanjang jaringan transmisi Sungguminasa-Bolangi sepanjang 52,86 km yang merupakan jaringan primer sistem Sulbagsel berdasarkan struktur jaringan transmisi ULTG Panakkukang.

Jaringan transmisi Sungguminasa-Bolangi membutuhkan sistem proteksi petir yang kuat karena letaknya yang berada di area terbuka dan rawan tersambar petir. Pada tanggal 11 Maret 2023, terjadi sambaran petir di Tower .134 jaringan Sungguminasa-Bolangi yang mengakibatkan padamnya listrik secara besar-besaran di sistem Sulbagsel.

Tingginya resistansi menara dan tidak adanya pentanahan menghalangi arus listrik mengalir ke tanah, sehingga terjadi perbedaan potensial antara menara dan kabel fasa. Media isolasi dapat rusak dan dapat terjadi interferensi fasa ke tanah apabila beda potensial tersebut lebih besar dari Nilai Insulasi Dasar (IB) isolator. Untuk menjaga kestabilan penghantar dan mencegah terulangnya masalah tersebut, maka pemasangan pemberat pada dasar tower SUTT sangat penting.

B. Rumusan Masalah

Adapun rumusan masalah sebagai berikut:

1. Bagaimana melakukan pengujian perbaikan nilai tahanan pentanahan tower dengan menggunakan Simulasi metode *counter poise* dalam nilai tahanan pentanahan tower yang melebihi standar?
2. Bagaimana menganalisa pengujian perbaikan nilai tahanan pentanahan tower dengan menggunakan metode *counter poise* dalam menurunkan nilai tahanan pentanahan tower yang melebihi standar?
3. Bagaimana standar nilai tahanan pentanahan tower saluran udara tegangan tinggi (SUTT) 150kV?

C. Tujuan Penelitian

1. Tujuan Akademik

- a. Untuk menguji dan menganalisis efektivitas metode counterpoise dalam menurunkan nilai tahanan pentanahan pada Tower .134 di jalur transmisi Sungguminasa – Bollangi yang melebihi batas standar yang ditetapkan oleh SPLN.
- b. Untuk memberikan kontribusi ilmiah dalam pengembangan strategi perbaikan sistem pentanahan pada infrastruktur Saluran Udara Tegangan Tinggi (SUTT) melalui pendekatan simulasi teknis.

2. Tujuan Praktis

- a. Untuk memberikan rekomendasi teknis dalam upaya perbaikan nilai tahanan pentanahan yang dapat diterapkan oleh pihak terkait, khususnya PLN.
- b. Sebagai bagian dari upaya mitigasi terhadap potensi gangguan akibat petir pada jaringan transmisi SUTT 150 kV, guna meningkatkan keandalan dan keselamatan sistem tenaga listrik.

D. Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini adalah:

1. Untuk meningkatkan keandalan dan kualitas proteksi pada saluran udara tegangan tinggi (SUTT) 150 kV jalur Sungguminasa – Bolangi terhadap gangguan petir.
2. Sebagai bahan referensi untuk pembaca yang mengenai pentanahan.

E. Batasan Masalah

Penelitian ini dibatasi pada Saluran Udara Tegangan Tinggi (SUTT) 150 kV Jalur Sungguminasa-Bolangi.

F. Sistematika Penulis

Tugas akhir ini terdiri atas lima bab, dengan sistematika penulisan sebagai berikut:

BAB II : Pendahuluan

Bab ini terdiri atas latar belakang, rumusan masalah, tujuan penulisan, manfaat penelitian, batasan masalah, serta sistematika penulisan dari hasil penelitian yang akan dilakukan.

BAB II : Tinjauan Pustaka

Bab ini menguraikan referensi yang relevan dengan judul penelitian yang dilakukan.

BAB III : Metode Penelitian

Bab ini mendeskripsikan metode yang digunakan dalam penyusunan tugas akhir ini serta bagian-bagian penelitian.

BAB IV : Hasil dan Pembahasan

Hasil dari penelitian akan dibahas pada bagian ini.

BAB V : Penutup (Simpulan dan Saran)

Bab ini memuat kesimpulan dan saran terkait judul penelitian.

DAFTAR

PUSTAKA

LAMPIRAN

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

A. Pengertian Petir dan *Grouding Sistem*

1. Pengertian Petir



Gambar 2.1 Ilustrasi Sambaran Petir Pada Tower Transmisi
(Sumber PDKB UPT Makassar)

Pelepasan muatan listrik, baik dari awan ke tanah, dari bumi ke awan, atau bahkan antar awan, adalah penyebab terjadinya petir, fenomena alam. Pada dasarnya, percikan api dan muatan listrik yang sangat besar adalah ciri-ciri petir. Terciptanya badai adalah langkah pertama dalam fenomena petir, yang berlanjut dengan pelepasan muatan petir. (Dibuat oleh Yulistya Negara 2013)

Sambaran petir pada jaringan transmisi secara umum terbagi menjadi tiga jenis:

- a. Dampak langsung pada kabel membuat lonjakan listrik tidak dapat

dihindari pada titik tumpu atau titik yang ditentukan pada target.

- b. Ketika menara atau kabel di atas tersambar petir, kemungkinan terjadinya busur listrik meningkat karena resistansi yang signifikan dari penopang menara.
- c. Gelombang petir yang tajam pada kabel tanah di atas menghasilkan lonjakan listrik pada kabel konduktor.

Sambaran petir pada kabel tanah di udara merupakan jenis yang paling umum dari tiga kategori yang menyerang saluran udara tegangan tinggi. Buku Panduan Pemeliharaan SUTT/SUTET PLN, 2014.

Pembumian menara transmisi memperkuat ketahanan sistem terhadap petir. Petir memecah arus pada kabel udara di dekat menara listrik. Titik utama penyebaran arus ke tanah adalah di kaki menara. Sebelum ditanahkan oleh menara listrik berikutnya, sebagian kecil melewati kabel tanah. Petir menyambar kabel tanah antara dua menara listrik, sehingga menimbulkan situasi sulit baru. Gelombang petir ini akan menyambar menara tetangga saat menyambar. (Artono Arismunandar, 1990)

Dalam rentang beberapa mikrodetik, sambaran petir dapat menghasilkan tegangan puncak mulai dari seratus hingga seribu kilovolt. Flashover ke belakang terjadi ketika petir menyambar menara. Flashover ke belakang terjadi ketika saluran kotak roda gigi mengalami sambaran petir yang menciptakan flashover, yang menyebabkan peningkatan aliran tegangan di luar ambang batas level isolasi (BIL) peralatan. Dalam kebanyakan kasus, masalah ini muncul karena peningkatan resistansi atau

resistansi dari menara itu sendiri dan fondasinya. Panduan Perbaikan Sistem SUTT/SUTET PLN Tahun 2014.

Tegangan lebih akibat petir disebut impuls petir. Sistem tenaga listrik rentan terhadap tiga risiko akibat tegangan lebih impuls petir: (1990, Artono Arismunandar)

- a. Sistem pentanahan yang tidak memadai untuk menara transmisi dapat mengakibatkan tegangan tinggi di bagian atas akibat arus petir, Meningkatkan perbedaan potensial isolator kotak roda gigi dapat menyebabkan terjadinya flashover;
- b. Tegangan impuls petir yang diterima oleh gardu induk akan membahayakan isolasi peralatan akibat tegangan berlebih.
- c. Gelombang tegangan impuls petir akan dipantulkan dan kembali ke titik tumbukan di ujung terbuka saluran transmisi, sehingga menghasilkan tegangan dua kali lipat dari tegangan masuk.

Untuk mengurangi bahaya yang ditimbulkan oleh tegangan lebih, sangat penting untuk menerapkan prosedur yang membatasi tegangan lebih yang memengaruhi peralatan sistem, memastikan tegangan tersebut tetap berada dalam kekuatan isolasi peralatan. Ada dua metode untuk melakukannya: menambah jumlah kabel ground untuk menyediakan saluran bagi arus gangguan dan memasang perangkat proteksi tegangan lebih. (Kuwahara dan Artono Arismunandar, Susumu 1982)

2. Pengertian Sistem Penumbumian

Sistem penumbumian melindungi perangkat listrik dari lonjakan daya, terutama petir. Sistem penumbumian menghubungkan perangkat listrik ke bumi. Tujuan mendasar dari penumbumian adalah untuk menyediakan jalur impedansi rendah untuk lonjakan listrik dan tegangan transien ke permukaan bumi. (Tahun Singa pada tahun 2013).

Meminimalkan resistansi penumbumian dasar menara akan mengurangi tegangan menara yang disebabkan oleh petir, yang dapat merusak sistem distribusi. (2013) Tahun Singa. Sistem penumbumian mengurangi tegangan lebih transien sesuai dengan kapasitas isolasi peralatan dan persyaratan keselamatan serta memungkinkan diagnosis dan isolasi sistem tenaga yang cepat dan akurat. (Djiteng Marsudi 2006).

B. Saluran Udara Transmisi Tenaga Listrik

Jaringan transmisi memindahkan sejumlah besar listrik dari pembangkit listrik ke pusat distribusi. Distribusi listrik melalui udara menggunakan jenis jaringan transmisi daya listrik yang paling umum di PLN. Hal ini dikarenakan biaya yang lebih rendah dibandingkan dengan jenis saluran transmisi lainnya dan persyaratan perawatannya yang lebih rendah. Di PLN, beberapa kategori saluran transmisi daya listrik di udara digunakan, khususnya: (Buku Pedoman Pemeliharaan SUTT/SUTET PLN 2014)

1. Saluran Udara Tegangan Tinggi (SUTT) 70 kV
2. Saluran Udara Tegangan Tinggi (SUTT) 150 kV

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



Gambar 2.2 Saluran Udara Tegangan Tinggi (SUTT)
(Sumber: PDKB UPT Makassar)

C. Isolator

1. Pengertian isolator

Isolator listrik mencegah perpindahan muatan. Senyawa isolator memiliki elektron valensi yang terikat erat dengan inti atom. Bahan-bahan ini memblokir listrik dalam elektronik sebagai isolator. (Djiteng Marsudi 2006).

2. Macam-Macam isolator

a. Isolator keramik

Mineral yang dipanaskan menghasilkan keramik, yang digunakan untuk membuat barang-barang dari keramik. Material keramik seperti porselen dan steatit tahan terhadap tekanan mekanis, sehingga berguna untuk teknik listrik. Isolator tegangan tinggi, sekering pipa porselen, dan cincin keramik merupakan isolator berbahan dasar porselen. (Buku Pedoman Pemeliharaan SUTT/SUTET PLN 2014)



Gambar 2.3 Isolator Keramik
(Sumber: ULTG Panakkukang)

b. Isolator Kaca

Kaca merupakan isolator listrik yang baik, tetapi rapuh dan lemah dibandingkan dengan keramik. Kuarsa dan kapur merupakan kunci peleburan kaca. (Buku Pedoman Pemeliharaan SUTT/SUTET PLN2014)



Gambar 2.4 Isolator Kaca
(Sumber: ULTG Panakkukang)

c. Isolator Karet

Karet merupakan isolator yang penting dalam teknik listrik. Beberapa pohon karet menghasilkan getah karet. Karet tahan terhadap korosi, tetapi hewan merusaknya. (Buku Pedoman Pemeliharaan SUTT/SUTETPLN2014)



Gambar 2.5 Isolator Karet
(Sumber: ULTG Panakkukang)

d. Isolator Porselen

Kuarsa, feldspar, dan tanah liat porselen bersatu untuk membentuk bahan isolasi ini. Melapisi bagian luar dengan zat kaca mencegah bahan isolasi menjadi berpori. Lapisan glasir ini membuat permukaan isolator halus dan berkilau, yang membuatnya kurang menyerap air. (Buku Pedoman Pemeliharaan SUTT/SUTET PLN 2014)



Gambar 2.6 Isolator Porselen
(Sumber ULTG Panakkukang)

e. Isolator Komposit

Isolator keramik dan kaca terbatas, sehingga diciptakanlah isolator komposit. Isolator komposit memiliki inti berbentuk batang, sambungan logam, dan bahan antarmuka. (Buku Pedoman Pemeliharaan SUTT/SUTET PLN 2014)



Gambar 2.7 Isolator Polimer
(Sumber ULTG Panakkukang)

PLN sering menggunakan tiga jenis isolator utama: kaca, keramik, dan komposit. Hal ini dikarenakan keunggulan dan efektivitas biaya dari bahan isolasi tertentu, serta batasan level operasi (BIL) yang sesuai dengan standar yang ditetapkan oleh PLN. Batas tegangan operasi untuk setiap isolator, bergantung pada jenis dan ukuran bahan isolasi, adalah 11–12 kV per unit. (SK.DIR PLN 0520 tahun 2014).

D. Standar dan Jenis Pentanahan Kaki Tower Saluran Udara Tegangan Tinggi (SUTT)

1. Standar Pentanahan Kaki Tower

Sistem pentanahan harus memenuhi karakteristik ini agar dapat berfungsi: (Djiteng Marsudi 2006)

- a. Menyediakan jalur impedansi rendah ke tanah untuk melindungi orang dan peralatan.
- b. Dapat menahan dan menghilangkan arus balik dan lonjakan arus.
- c. Untuk memastikan keseragaman dalam penampilan, gunakan bahan yang menunjukkan ketahanan korosi dalam berbagai kimia tanah.
- d. Gunakan sistem mekanis yang tahan lama dan perawatannya rendah.

Pembumian merupakan komponen penting dalam pengamanan infrastruktur kelistrikan. Sistem pembumian yang kuat tidak hanya menjamin keamanan sistem tenaga listrik dan peralatan pendukungnya, tetapi juga meningkatkan stabilitas sistem tenaga listrik. Resistansi pembumian menara SUTT diklasifikasikan menjadi tiga kategori: (SK.DIR PLN 0520 tahun 2014)

- a. Saluran Udara Tegangan Tinggi (SUTT) 70 kV besarnya nilai tahanan pentanahan adalah 5 ohm.
- b. Saluran Udara Tegangan Tinggi (SUTT) 150 kV besarnya nilai tahanan pentanahan adalah 10 ohm.
- c. Saluran Udara Tegangan Tinggi (SUTT) 500 kV besarnya nilai tahanan pentanahan adalah 15 ohm.

Saluran transmisi sering mengalami gangguan, yang meliputi gangguan internal dari peralatan dan gangguan eksternal dari lingkungan, termasuk yang disebabkan oleh sambaran petir. Hal ini disebabkan oleh paparan langsung saluran transmisi terhadap lingkungan eksternal, karena saluran transmisi memanjang, meninggi, dan melewati banyak ruang terbuka dalam kondisi yang berbeda. (Buku Pedoman Pemeliharaan SUTT/SUTET PLN Tahun 2014).

2. Jenis Pentanahan Kaki Tower

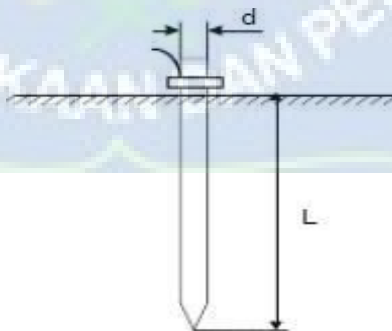
PLN menggunakan beberapa proses pentanahan saat nilai pentanahan menara meningkat. Hubungan arus pendek dan sambaran petir pada menara SUTT 150 kV dimitigasi. Berikut adalah metode pentanahan

menara SUTT: (Djiteng Marsudi 2006)

- a. Elektroda batang terdiri dari rel logam yang dikubur dan digunakan sebagai batang elektroda. Ini adalah cara terbaik dan paling sederhana untuk mendapatkan nilai guna lahan.
- b. Elektroda pelat adalah pelat logam yang diletakkan rata di tanah. Karena tidak efektif di medan berbatu, metode ini jarang digunakan.
- c. Alat yang dikenal sebagai penyeimbang diletakkan rata di lantai. Ketika nilai resistansi tanah tinggi atau perlu ditingkatkan, pembumian dilakukan.
- d. Jaring adalah susunan elektroda berbasis tanah yang diletakkan dalam pola horizontal; ini bekerja dengan baik di medan miring. Banyak gardu induk tegangan tinggi PLN menggunakan metode pembumian ini selama konstruksi.

U. B Dwiht menyatakan bahwa Untuk mengukur resistansi pembumian elektroda batang:

- Untuk satu batang elektroda ditanamkan tegak lurus



Gambar 2.8 Elektroda Batang Ditanamkan Tegak Lurus
(Sumber PUIL 2000)

$$R_{bt}^1 = \frac{\rho}{2\pi} \left[\ln\left(\frac{2L}{d}\right) - 1 \right] \dots\dots\dots 2.1$$

Dimana :

R_{bt}^1 = Tahanan kaki tower 1 batang elektroda (Ω)

ρ = Tahanan jenis tanah (Ωm)

L = Panjang batang yang tertanam (m)

d = jari – jari batang elektroda (m)

\ln = Logaritmus (dasar $e = 2.7182818$)

Persamaan di atas menunjukkan bahwa menambah panjang batang pentanahan akan mengurangi resistansi kaki menara. Persamaan (2.1) dapat menghitung resistansi kaki menara jika d diubah menjadi A dan jari-jari batang pentanahan tetap konstan dengan batang pentanahan paralel. A adalah kelipatan dari setiap batang pentanahan, yang nilainya bergantung pada posisi masing-masing.

penempatan:

$$2 \text{ batang diletakkan di mana saja } A = \sqrt{ar} \dots\dots\dots (2.2)$$

$$3 \text{ batang diletakkan membentuk segitiga } A = \sqrt[3]{a^2 r} \dots\dots\dots (2.3)$$

$$4 \text{ batang diletakkan membentuk persegi } A = \sqrt[4]{2 \frac{1}{a^3} r} \dots\dots\dots (2.4)$$

dengan:

r = jari-jari masing-masing batang pengetanahan (harus sama)

a = jarak antara batang pengetanahan.

Bahan batang pentanahan yang paling umum adalah tembaga dan aluminium. Di lingkungan yang dicirikan oleh kadar garam yang tinggi, tingkat kelembapan yang tinggi, dan kondisi tanah yang menantang, tembaga dilaporkan memiliki ketahanan korosi yang lebih baik. Djiteng Marsudi, 2006

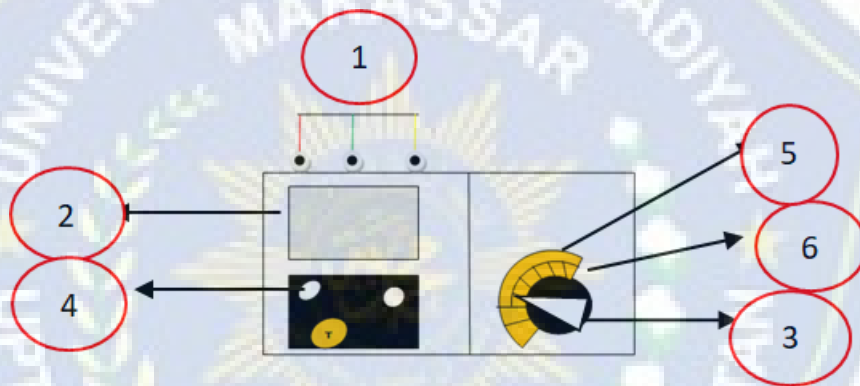
Memperpanjang batang elektroda pentanahan akan mengurangi resistansi kaki menara sesuai persamaan yang disebutkan sebelumnya. Batang elektroda harus dipasang pada kedalaman 3 hingga 9 meter. Sambungan ini bersifat tidak langsung, oleh karena itu batang pentanahan yang lebih panjang hanya akan sedikit meningkatkan pentanahan dasar menara. Hal ini menyebabkan pemasangan batang elektroda tambahan secara paralel dengan dua batang yang biasanya digunakan untuk pentanahan dasar menara. (PUIL 2000)

E. Pengukuran Tahanan Pentanahan

Produksi dan distribusi Earth Tester mematuhi persyaratan standar keselamatan IEC-1010 (EN 61010). Untuk mengetahui seberapa besar resistansi terhadap pentanahan, Anda dapat menggunakan Earth Tester. Memeriksa besarnya resistansi pentanahan merupakan prasyarat untuk pentanahan sistem keselamatan instalasi listrik. (Buku Pedoman Pemeliharaan SUTT/SUTET PLN Tahun 2014).



Gambar 2.9 Earth Tester
(Sumber ULTG Panakkukang)



Gambar 2.10 Bagian-Bagian Earth Tester
(Sumber ULTG Panakkukang)

Bagian alat ukur terdiri:

- | | |
|---------------------|-----------------------------|
| 1. Terminal. | 4. Tombol uji. |
| 2. Layar pembacaan. | 5. Indikator. |
| 3. Selector switch. | 6. Indeks skala pengukuran. |

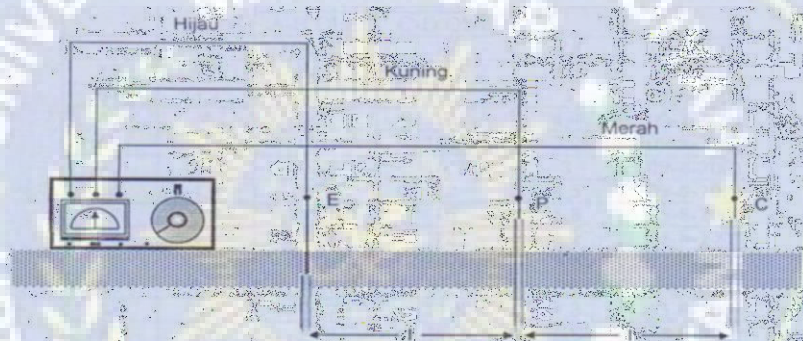
Komponen penting dari resistansi sistem pentanahan adalah jenis resistivitas tanah di lokasi pemasangan elektroda pentanahan. Untuk lokasi yang

dangkal, harga resistivitas tanah bergantung pada sejumlah faktor termasuk jenis tanah, lapisan, kelembaban, dan suhu. (PUIL 2000)

Tabel 2.1 Tahanan Jenis Tanah

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

(Sumber PUIL 2000)



Gambar 2.11 Ilustrasi Pengukuran dengan *Earth Tester*
(Sumber ULTG Panakkukang)

Pengukuran dilakukan dengan cara sebagai berikut:

1. Semua konektor kabel meter sudah terpasang.
2. Untuk memeriksa tegangan baterai Earth Tester, gunakan sakelar pemilih yang terletak di sisi kanan skala pembacaan. Jika Anda dapat melihat lampu indikator baterai atau melihatnya dengan jelas di layar pembacaan, berarti baterai sudah penuh.
3. Setelah melepas baut yang menghubungkan elektroda arde dan konduktor

arde, bersihkan karat yang mungkin menempel padanya.

4. Jaga jarak 5 hingga 10 meter antara kabel probe kuning dan merah saat dihubungkan ke arde. Untuk menguji komponen, hubungkan ke terminal yang memiliki kabel hijau.
5. Pada indeks skala pengukuran, putar sakelar pemilih ke posisi 3p lalu klik tombol (NO.4). Menekan tombol 4 akan memicu pengukuran dan menampilkan hasilnya di layar.
6. Ambil gambar atau tuliskan hasil pengukuran.



BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

Dalam penyusunan tugas akhir ini metodologi penelitian yang digunakan adalah:

A. Waktu dan Tempat Penelitian

1. Waktu

Waktu penelitian dilakukan pada Januari – Februari 2025

Tabel 3.1 Tahap Pengumpulan Data

No.	Tahap	Jenis Data	Sumber Data	Waktu Pelaksanaan
	Pengumpulan Data			
1	Pengumpulan Data Topologi Jaringan	Data teknis sistem transmisi	PT PLN (Persero) UP3 Makassar Utara	6 – 12 Januari 2025
2	Pengumpulan Data Hasil Pengukuran Tahanan Pentanahan Awal	Data primer pengukuran grounding	Laporan teknis & hasil pengukuran PLN	13 – 19 Januari 2025
3	Pengumpulan Riwayat Gangguan pada Sungguminasa–	Data gangguan sistem transmisi	Dokumentasi PLN	20 – 26 Januari 2025

	Bollangi									
4	Observasi Lapangan	Data primer	Lokasi Tower 134	27 Januari – 2						
	Tower 134	kondisi aktual	Sungguminasa–	Februari 2025						
		di lapangan	Bollangi							
5	Simulasi	dan Data	hasil	Perhitungan	dan 3	–	16			
	Analisis Metode	simulasi	simulasi	oleh	Februari 2025					
	Counterpoise	teknis	peneliti							
6	Pengumpulan Data	Data	Pengujian	17 Februari –						
	Hasil Pengukuran	pengukuran	lapangan dengan	2 Maret 2025						
	Setelah Simulasi	aktual pasca	Earth Tester							
		simulasi								

2. Tempat Pelaksanaan

PT PLN (Persero) Unit Pelaksana Pelayanan Pelanggan Makassar Utara SUTTSungguminasa –BollangiTower134 dijadikansebagai tempat pelaksanaan.

B. Alat dan Bahan

Alat dan bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah:

- | | | | |
|----|-----------------|----|-------------------|
| a. | Kunci Past Ring | h. | Gurindah Cutting |
| b. | Tangkombinasi | i. | Gurindah Tangan |
| c. | Tali/Tambang | j. | Palu 10 Kg |
| d. | Obeng | k. | Tang Press |
| e. | Cangkul | l. | Scundan Pipa Besi |

- | | | | |
|----|----------------|----|----------------------|
| f. | <i>Linggis</i> | l. | Kawat <i>GSW</i> 10m |
| g. | <i>Skop</i> | m. | Mur Baut 17 dan 19 |
| | | n. | <i>Earth Tester</i> |

C. Teknik Pengumpulan Data

Dalam penelitian ini, pengumpulan data dilakukan untuk memperoleh informasi yang relevan dan mendukung analisis terkait simulasi metode counterpoise pada sistem pentanahan tower jalur Sungguminasa – Bollangi. Data yang digunakan bersumber dari data primer PT PLN (Persero) Unit Pelaksana Pelayanan Pelanggan (UP3) Makassar Utara, yang mencakup:

1. Topologi jaringan transmisi segmen Sungguminasa – Bollangi.
2. Hasil pengukuran nilai tahanan pentanahan pada Tower .134.
3. Riwayat gangguan pada jaringan 150 kV Sungguminasa – Bollangi.
4. Simulasi dan hasil analisis sistem pentanahan pada Tower .134.

Adapun teknik pengumpulan data yang digunakan dalam penelitian ini meliputi:

1. Studi Literatur

Peneliti melakukan kajian terhadap berbagai referensi yang relevan seperti buku, jurnal ilmiah, serta laporan teknis terkait sistem pentanahan dan metode counterpoise. Studi literatur ini bertujuan untuk memperkuat dasar teori dan kerangka analisis dalam penelitian.

2. Observasi Lapangan

Observasi dilakukan secara langsung di lokasi Tower 134 untuk memperoleh data primer mengenai kondisi fisik sistem pentanahan. Melalui teknik ini, peneliti dapat mencatat secara faktual kondisi aktual dan mengamati perubahan nilai tahanan setelah dilakukan simulasi pemasangan elektroda dengan metode counterpoise.

D. Teknik Analisa Data

Metode untuk menganalisis data kuantitatif digunakan dalam penelitian ini. Sebagai bagian dari analisis data, peneliti menggunakan metode statistik untuk menentukan nilai resistansi menara, yang kemudian dibandingkan dengan hasil pembacaan dari alat ukur. Untuk mengetahui nilai resistansi pentanahan, peneliti menganalisis ulang menara, kali ini dengan nilai yang lebih tinggi dari standar maksimum yang diizinkan (10Ω).

E. Prosedur Penelitian

Prosedur penelitian yang digambarkan dalam bentuk



Gambar 3.1 *Flow diagram.*

BAB IV

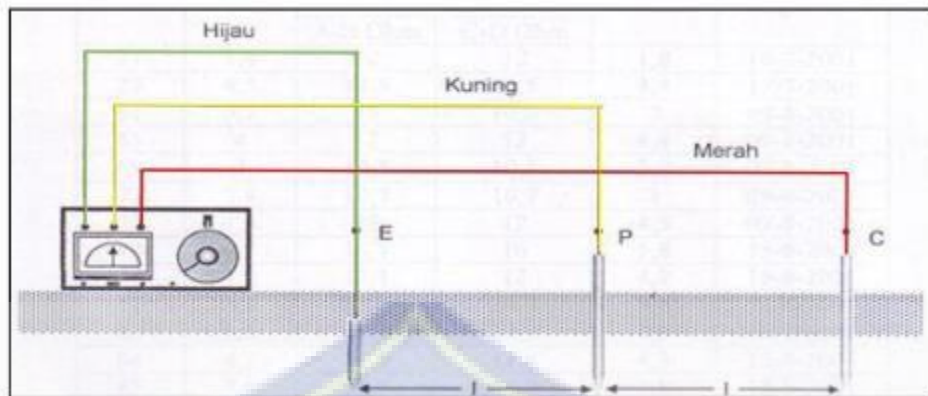
HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Lokasi Pengukuran

Pengukuran dilakukan pada saluran udara tegangan tinggi (SUTT) 150 kV jalur Sungguminasa – Bollangi. Jalur ini terdiri dari sejumlah tower transmisi, namun pengukuran nilai pentanahan difokuskan pada 10 tower, yaitu tower nomor 132 hingga 140. Pemilihan tower tersebut didasarkan pada data gangguan petir yang tercatat pada tanggal 19 Desember 2024, serta hasil pembacaan dari relai jarak yang terpasang di Gardu Induk Sungguminasa dan Gardu Induk Bollangi. Data ini menjadi dasar dalam melakukan simulasi penerapan metode counterpoise sebagai upaya peningkatan efektivitas sistem pentanahan pada jalur transmisi yang dimaksud.

B. Pengukuran Resistansi *Grounding*

Pengukuran dilaksanakan pada tanggal 20 Februari 2025 pada tower 132 – 140 segmen Sungguminasa – Bollangi. Pengukuran menggunakan alat ukur Earth tester.



Gambar 4.1 Ilustrasi Pengukuran dengan *Earth Tester*
(Sumber ULTG Panakkukang)

Pengukuran dilakukan dengan cara sebagai berikut:

1. Semua terminal kabel dipasang pada alat ukur.
2. Mengecek tegangan batere *Earth Tester* dengan cara *selector switch* diarahkan ke kanan pada skala pembacaan apabila lampu indikator menyala maka bertanda isi batere penuh atau dengan cara melihat langsung pada indikator batere pada layar pembacaan.
3. Baut sambungan pada penghantar pentanahan dan elektroda pentanahannya dilepas, karat yang menempel dibersihkan.
4. Terminal dengan kabel hijau dihubungkan pada bagian yang akan diukur, probe kabel kuning ditancapkan pada tanah dengan jarak 5-10 m dengan probe kabel merah.
5. Tombol (NO. 4) ditekan, sebelumnya arahkan *selector switch* ke posisi 3p pada indeks skala pengukuran . Tekan Tombol no 4 dan alat melakukan pengukuran dan menampilkan hasil pengukuran pada layar.
6. Catat atau foto hasil pengukuran.

C. Data Pengukuran Pentanahan

Untuk melindungi kawat fasa terhadap sambaran langsung dari petir digunakan satu atau dua kawat tanah yang terletak di atas kawat fasa dengan sudut perlindungan 15^0 untuk dua kawat tanah dan 30^0 untuk satu kawat tanah (SK.DIR PLN 0520 tahun 2014). Dengan demikian kemungkinan terjadinya loncatan api karena sambaran petir secara langsung dapat diabaikan. Kemungkinan terjadinya locatan balik (back flash over) karena sambaran kilat secara langsung pada puncak menara atau kawat tanah tetap masih ada, dan untuk mengurangnya tahanan kaki menara harus dibuat tidak melebihi 10 Ohm (SK.DIR PLN 0520 tahun 2014). Tahanan kaki menara 10 Ohm dapat diperoleh dengan menggunakan satu atau lebih batang pembumian (*ground rod*) atau dengan sistem *counter poise*. Pemilihan penggunaan batang pembumian dan atau sistem *counter poise* tergantung dari tahanan jenis tanah di mana menara transmisi tersebut berada.

Pentanahan dengan metode *Counter Poise* merupakan metode pentanahan dengan menggunakan elektroda berbentuk batang (berdiameter 1 - 2 Inch dan panjangnya 3 - 10 meter) yang di tanam tegak lurus ke dalam tanah dengan kedalaman antara 1 – 10 meter. (Buku Pedoman Pemeliharaan SUTT/SUTET PLN Tahun 2014)

Tabel 4.1 Data Hasil Pengukuran Nilai Tahanan Pentanahan
Tanggal Pengukuran : 20 Februari

Tabel Hasil Pengukuran Ulang Tahanan Pentanahan

No.	Nomor Tower	Type Isolator	Lokasi	Pengukuran Ulang (Ω)
1	132	SS	Salwah	3,07 Ω
2	133	DS	Salwah	1,32 Ω
3	134	DS	Salwah	0,67 Ω
4	135	DT	Salwah	0,80 Ω
5	136	DS	Salwah	0,69 Ω
6	137	DS	—	0,41 Ω
7	138	ST/DT	Salwah	0,56 Ω
8	139	DS	Salwah	2,42 Ω
9	140	DS	Salwah	3,22 Ω

Berdasarkan data yang ditampilkan pada Tabel 4.1, tingkat kualitas tahanan pembumian dapat diklasifikasikan sebagai berikut:

- Kondisi baik, yaitu jika nilai tahanan pembumian berada di bawah 10 Ohm, bahkan mendekati nol (0) Ohm.
- Kondisi waspada, yaitu ketika nilai tahanan berkisar antara 8 hingga 10 Ohm. Meskipun masih dalam kategori aman, namun tetap perlu diawasi.
- Kondisi buruk, ditandai dengan nilai tahanan yang melampaui batas standar, yaitu lebih dari 10 Ohm.
- Kondisi tidak terdeteksi, terjadi apabila nilai tahanan tidak dapat diukur

karena kendala teknis tertentu.

Berdasarkan hasil pengukuran pada lokasi Saluran Udara Tegangan Tinggi (SUTT) 150 kV jalur Sungguminasa – Bollangi, secara umum nilai tahanan pentanahan masih berada di bawah ambang batas yang ditetapkan, yakni di bawah 10 Ohm. Namun, terdapat satu tower, yaitu tower nomor 140, yang menunjukkan nilai tahanan pentanahan jauh melebihi standar, yakni sebesar 3.22 Ohm.

Kondisi tersebut berpotensi menimbulkan back flashover, yaitu loncatan listrik balik pada saluran transmisi akibat sambaran petir. Peristiwa ini dapat terjadi apabila tegangan lebih yang ditimbulkan sambaran petir melebihi batas kemampuan isolasi peralatan (Basic Insulation Level/BIL). Umumnya, hal ini dipicu oleh tingginya resistansi sistem pentanahan pada kaki tower. (Sumber: *Buku Pedoman Pemeliharaan SUTT/SUTET PLN, 2014*)

D. Analisa Data Pengukuran dengan Perhitungan

Berdasarkan hasil pengukuran yang telah dilakukan, ditemukan bahwa beberapa tower pada jalur transmisi memiliki nilai tahanan pentanahan yang melebihi ambang batas yang ditetapkan, yakni sebesar 10 Ohm. Hasil analisis menunjukkan bahwa salah satu tower pada Saluran Udara Tegangan Tinggi (SUTT) 150 kV jalur Sungguminasa – Bollangi, yaitu tower nomor 140, menunjukkan nilai tahanan pentanahan yang tidak sesuai dengan standar teknis. Nilai tersebut diasumsikan berkaitan dengan karakteristik tanah di sekitar lokasi tower yang memiliki resistivitas tinggi,

yaitu mencapai 100 Ohm·meter, yang merupakan nilai maksimum resistivitas untuk jenis tanah liat atau ladang berdasarkan klasifikasi umum tanah.

Mengacu pada data hasil pengukuran yang disajikan pada Tabel 4.1 dan menggunakan persamaan 2.1, dilakukan simulasi perhitungan ulang sistem pentanahan dengan konfigurasi dua batang elektroda. Perhitungan ini digunakan sebagai dasar untuk menerapkan metode counterpoise dalam rangka meningkatkan performa sistem pentanahan. Simulasi mempertimbangkan variabel-variabel penting, seperti panjang dan jarak antar elektroda, serta resistivitas tanah, guna menghasilkan rancangan sistem pentanahan yang lebih efektif pada tower dengan kondisi tidak memenuhi standar.

- (Tahanan Jenis Tanah) tanah liat / ladang : 20 s.d 100 Ohm-m
- (Tahanan Jenis Tanah) diasumsikan maksimum : 100 Ohm-m
- L (Panjang Batang yang tertanam) : 3 meter
- d (Diameter batang Elektroda) : $\frac{3}{4}$ Inchi (19 mm)
- r (radius batang Elektroda) : 0,0095 m
- a (jarak antar batang) : 6 meter

Berikut cara menghitung tahanan pentanahan (ground resistance) “di sawah” dengan rumus batang elektroda tunggal, lalu dicocokkan dengan nilai 3,22 Ω yang Anda sebut. Untuk elektroda batang panjang L dan diameter d di tanah homogen dengan resistivitas ρ :

Rumus Dwight; pendekatan umum lainnya adalah

$$R = \frac{\rho}{2\pi L} \left[\ln \left(\frac{8L}{d} \right) - 1 \right]$$

$$\frac{\rho}{2\pi L} \ln \left(\frac{4L}{d} \right)$$

Jika yang diketahui $R = 3,22 \, \Omega$

- Panjang batang $L=3,0 \, \text{m}$
- Diameter batang $d=16 \, \text{mm}$

Maka perhitungannya adalah

$$\rho = R \cdot \frac{2\pi L}{\ln \left(\frac{8L}{d} \right) - 1}$$

Hitung :

- $\frac{8L}{d} = \frac{8 \times 3,0}{0,016} = 1500$
- $\ln (1500) = 7,313$
- $\ln (1500) - 1 = 6,313$
- $2\pi L = 2\pi \times 3,0 = 18,850$

$$\rho = 3,22 \times \frac{18,850}{6,313} = 9,61 \, \Omega \cdot \text{m}$$

Hasil:

$\rho = 9,61 \, \Omega \cdot \text{m}$ ini sangat masuk akal untuk sawah (tanah basah memang sangat konduktif)

Sebaliknya, Jika $\rho = 10 \, \Omega$ (tipikal tanah sawah basah), dengan $L=3$ dan $d=16$

$$R = \frac{10}{2\pi \times 3} [\ln (1500) - 1] = \frac{10}{18,850} \times 6,313 = 3,35 \, \Omega$$

Hasil perhitungan menunjukkan nilai tahanan pentanahan mendekati $3,22 \, \Omega$.

Perbedaan kecil antara hasil perhitungan dengan nilai pengukuran di lapangan dapat disebabkan oleh beberapa faktor, seperti variasi kadar air pada tanah, kualitas kontak antara batang dengan tanah, kondisi sambungan, maupun pengaruh kedalaman muka air tanah.

Selanjutnya, berdasarkan kajian teoritis, terdapat beberapa cara untuk menurunkan nilai tahanan pentanahan (R). Pertama, memperpanjang elektroda batang (L) dapat secara signifikan menurunkan nilai tahanan. Kedua, menambah jumlah batang elektroda yang dipasang secara paralel dengan jarak antarbatang minimal $\geq 2 \times L$ juga dapat menurunkan nilai tahanan sistem.

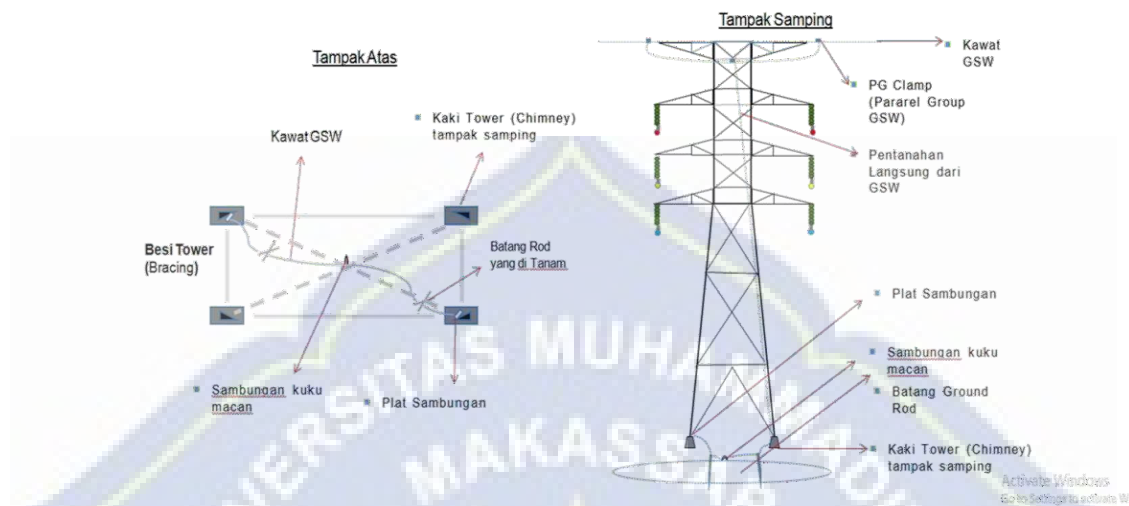
Selain itu, kondisi lingkungan di sekitar lokasi pemasangan elektroda sangat berpengaruh terhadap nilai resistivitas tanah (ρ). Faktor musim dan kelembapan tanah, khususnya pada lahan sawah, dapat menyebabkan perubahan nilai resistivitas sehingga pengukuran ulang pada kondisi yang berbeda berpotensi menghasilkan nilai tahanan pentanahan yang bervariasi.

Dengan demikian, dalam praktik perencanaan sistem pentanahan, pemilihan panjang elektroda, diameter batang, serta jumlah batang yang digunakan harus disesuaikan dengan kebutuhan dan kondisi lapangan agar nilai tahanan pentanahan yang dihasilkan dapat memenuhi standar yang berlaku.

Berdasarkan hasil perhitungan menggunakan rumus tahanan pentanahan batang tunggal, diperoleh nilai resistansi sebesar $3,35 \Omega$, yang mendekati hasil pengukuran lapangan yaitu $3,22 \Omega$. Perbedaan kecil antara keduanya dapat disebabkan oleh variasi kadar air dalam tanah, kualitas kontak antara batang elektroda dengan tanah, kondisi sambungan, maupun pengaruh kedalaman muka

air tanah. Faktor lingkungan seperti musim dan tingkat kelembapan juga berpengaruh terhadap nilai resistivitas tanah (ρ), sehingga pengukuran ulang pada kondisi yang berbeda memungkinkan menghasilkan nilai tahanan yang bervariasi. Upaya teknis yang dapat dilakukan untuk menurunkan nilai tahanan pentanahan antara lain dengan memperpanjang panjang batang elektroda (L) atau menambahkan batang paralel dengan jarak minimal $2 \times L$ antarbatang agar efektif dalam menurunkan nilai tahanan total.

Selanjutnya, metode counterpoise dapat diterapkan untuk memperbaiki sistem pentanahan tower. Penerapan sistem ini dilakukan dengan menambahkan elektroda batang yang ditanam di bawah permukaan tanah pada kedalaman antara 3 hingga 9 meter, sebagaimana dijelaskan oleh U. B. Dwihat dan diatur dalam standar PUILL (2000). Elektroda pentanahan yang terpasang secara optimal memiliki peran penting dalam menyalurkan arus listrik dari tower SUTT ke tanah, sekaligus mencegah terjadinya fenomena back flashover pada isolator ketika sistem pentanahan menerima sambaran petir. Struktur sistem pentanahan tower pada umumnya terdiri atas konduktor tembaga atau baja yang dikoneksikan melalui klem pada pipa pentanahan di sekitar pondasi tiang. Alternatif lain yang dapat digunakan yaitu dengan menanam plat berbahan aluminium atau tembaga di sekitar area kaki tower. Komponen tersebut berfungsi untuk mengalirkan arus listrik yang berasal dari konduktor ke dalam tanah secara efektif, sehingga mampu mengurangi risiko kerusakan akibat tegangan lebih yang ditimbulkan oleh sambaran petir (Marsudi, 2006).



Gambar 4.2 Layout Pemasangan *Counter poise* Pada Tower .134

Perbaikan sistem pentanahan pada Tower T.140 dapat dilakukan dengan menambahkan empat batang elektroda yang dipasang secara paralel. Berdasarkan hasil perhitungan, untuk kondisi tanah sawah dengan resistivitas sekitar $9,6 \Omega \cdot m$, resistansi batang tunggal sepanjang 3 m diperoleh sekitar $3,22 \Omega$. Jika empat batang dipasang paralel dengan jarak relatif rapat ($s \approx L$), maka resistansi gabungan turun menjadi sekitar $0,80 \Omega$. Sementara itu, apabila jarak antarbatang diperbesar ($s \approx 2L$), pengaruh saling interaksi antarbatang berkurang sehingga resistansi total dapat diturunkan lebih optimal, yaitu mendekati $0,75 \Omega$. Setelah digabung dengan sistem eksisting yang memiliki resistansi $3,22 \Omega$, nilai resistansi total sistem pentanahan dapat mencapai kisaran $0,7-0,8 \Omega$.

Untuk kondisi tanah dengan resistivitas yang lebih tinggi, misalnya tanah ladang atau pasir dengan $\rho \approx 30 \Omega \cdot m$, resistansi batang tunggal sepanjang 3 m

diperoleh sekitar 10 Ω . Jika empat batang dipasang paralel dengan jarak rapat, resistansinya menurun menjadi sekitar 4,2 Ω , sedangkan dengan jarak lebih baik ($s \approx 2L$) turun menjadi sekitar 3,1 Ω . Setelah digabung dengan sistem eksisting, nilai total pentanahan menurun ke kisaran 1,6–1,8 Ω . Pada tanah berpasir dengan resistivitas lebih besar, misalnya $\rho \approx 100 \Omega \cdot m$, resistansi batang tunggal mencapai 33–34 Ω . Dengan empat batang paralel pada jarak rapat, resistansi gabungan menjadi sekitar 14 Ω , sedangkan dengan jarak lebih baik dapat diturunkan hingga sekitar 10 Ω . Jika dikombinasikan dengan sistem eksisting (3,22 Ω), nilai resistansi total menurun hingga sekitar 2,5–2,6 Ω .

Hasil ini menunjukkan bahwa penambahan empat batang elektroda paralel pada Tower T.140 mampu menurunkan nilai resistansi pentanahan secara signifikan dan memenuhi kriteria teknis, yaitu di bawah 5 Ω sesuai standar umum. Pada tanah sawah, resistansi berhasil diturunkan hingga di bawah 1 Ω , sedangkan pada tanah liat atau berpasir menjadi sekitar 1,6–2,6 Ω . Selain itu, nilai Ground Potential Rise (GPR) juga mengalami penurunan yang cukup besar, yaitu dari kondisi awal 3,22 kV menjadi sekitar 0,7–0,8 kV pada tanah sawah, 1,6–1,8 kV pada tanah liat, serta 2,5–2,6 kV pada tanah berpasir. Penurunan ini setara dengan 40–80% dari nilai awal, yang membuktikan bahwa strategi penambahan batang elektroda tidak hanya efektif menurunkan tahanan pentanahan, tetapi juga meningkatkan faktor keselamatan dengan mengurangi tegangan sentuh dan tegangan langkah di sekitar tower.

Tabel 4.2 Pengukuran Perbaikan Nilai Tahanan Pentanahan Tower .134
Menggunakan Alat Pengukur

N0	Jenis pekerjaan	Keterangan Gambar
1	Penentuan titik perbaikan	
2	Proses pemasangan batang rod kedalam tanah	
3	Proses penyambungan kawat baja	
4	Proses pengepresan kawat baja	
5	Penyambunagn kawat baja ke kaki tower	
6	Pengukuran ulang nilai pentanahan tower	
7	Hasil pengukuran setelah perbaikan	

Sebelum dilakukan pengukuran langsung di lapangan, kondisi sistem pentanahan pada Tower T.140 hanya diperkirakan berdasarkan perhitungan teoritis. Dengan menggunakan asumsi resistivitas tanah sawah sekitar $9,6 \Omega \cdot m$, resistansi pentanahan untuk satu batang elektroda sepanjang 3 m diperkirakan sebesar $3,22 \Omega$. Apabila beberapa batang ditanam dan dihubungkan secara paralel, resistansi

dapat turun secara signifikan, yaitu menjadi sekitar $0,80 \Omega$ apabila empat batang dipasang dengan jarak rapat ($s \approx L$), atau sekitar $0,75 \Omega$ apabila jarak antarbatang diperbesar ($s \approx 2L$). Untuk kondisi tanah dengan resistivitas lebih tinggi, misalnya tanah liat dengan $\rho \approx 30 \Omega \cdot m$, resistansi satu batang mencapai sekitar 10Ω , kemudian menurun menjadi $4,2 \Omega$ (rapat) dan $3,1 \Omega$ (jarak lebih baik) ketika empat batang dipasang paralel. Sementara itu, pada tanah berpasir dengan resistivitas $\rho \approx 100 \Omega \cdot m$, resistansi satu batang mencapai sekitar 33Ω , lalu menurun menjadi 14Ω (rapat) atau 10Ω (jarak lebih baik) dengan konfigurasi empat batang.

Berdasarkan perhitungan ini, nilai pentanahan total setelah digabung dengan sistem eksisting diprediksi dapat turun hingga sekitar $0,7\text{--}0,8 \Omega$ pada tanah sawah, $1,6\text{--}1,8 \Omega$ pada tanah liat, dan $2,5\text{--}2,6 \Omega$ pada tanah berpasir. Hal ini menunjukkan bahwa secara teoritis sistem pentanahan Tower T.140 masih dapat dioptimalkan dengan penambahan batang elektroda, sehingga lebih andal dalam menyalurkan arus gangguan ke tanah serta menjaga keandalan sistem transmisi.

Setelah dilakukan pengukuran ulang di lapangan dengan metode arus–tegangan, resistansi pentanahan Tower T.140 diperoleh sebesar $3,22 \Omega$. Nilai ini sudah berada di bawah batas maksimum 5Ω sebagaimana ditetapkan dalam SPLN No. 1:1978 untuk jaringan transmisi 150 kV , sehingga secara teknis telah memenuhi standar yang berlaku. Namun demikian, hasil perhitungan Ground Potential Rise (GPR) menunjukkan bahwa dengan resistansi $3,22 \Omega$, nilai kenaikan potensial tanah masih relatif tinggi dan akan bergantung pada besar arus gangguan yang mengalir ke tanah. Setelah dilakukan perbaikan dengan menambahkan empat batang elektroda paralel, resistansi pentanahan dapat diturunkan menjadi sekitar

0,7–0,8 Ω pada tanah sawah, 1,6–1,8 Ω pada tanah liat, serta 2,5–2,6 Ω pada tanah berpasir. Penurunan resistansi ini berdampak langsung pada berkurangnya GPR, tegangan sentuh, dan tegangan langkah, sehingga tingkat keselamatan operator maupun masyarakat di sekitar tower meningkat secara signifikan. Dengan demikian, hasil pengukuran lapangan yang dikombinasikan dengan perhitungan teoritis membuktikan bahwa strategi penambahan batang elektroda efektif dalam mengoptimalkan kinerja sistem pentanahan Tower T.140 serta meningkatkan keandalan sistem transmisi tenaga listrik.



BAB V

PENUTUP

A. Kesimpulan

1. Berdasarkan hasil perhitungan dan pengukuran langsung di lapangan, dapat disimpulkan bahwa resistansi pentanahan Tower T.140 sebesar $3,22 \Omega$ masih berada di bawah batas maksimum 5Ω sesuai SPLN No. 1:1978, sehingga secara teknis sudah memenuhi standar sistem pentanahan pada jaringan transmisi 150 kV. Namun, hasil analisis teoritis menunjukkan bahwa penambahan batang elektroda secara paralel mampu menurunkan resistansi lebih signifikan, yaitu mencapai $1,6\text{--}1,8 \Omega$ pada tanah liat dan $2,5\text{--}2,6 \Omega$ pada tanah berpasir. Penurunan ini berdampak langsung pada berkurangnya Ground Potential Rise (GPR), tegangan sentuh, dan tegangan langkah, sehingga tingkat keselamatan operator maupun masyarakat di sekitar tower dapat lebih terjamin. Oleh karena itu, strategi penambahan batang elektroda terbukti efektif dalam mengoptimalkan sistem pentanahan Tower T.140, baik dari aspek keandalan teknis maupun peningkatan faktor keselamatan.
2. Berdasarkan hasil analisa pengujian perbaikan nilai tahanan pentanahan tower menggunakan metode counterpoise, dapat disimpulkan bahwa metode ini efektif dalam menurunkan nilai tahanan pentanahan yang melebihi standar. Penerapan konduktor tambahan yang ditanam secara radial di sekitar tower mampu memperluas bidang kontak dengan tanah sehingga resistansi tanah berkurang secara signifikan. Dengan demikian, penggunaan metode

counterpoise terbukti dapat memenuhi standar nilai tahanan pentanahan yang dipersyaratkan serta meningkatkan keandalan sistem proteksi petir pada tower.

3. Berdasarkan standar SPLN, nilai tahanan pentanahan untuk tower Saluran Udara Tegangan Tinggi (SUTT) 150 kV harus $\leq 5 \Omega$ agar sistem proteksi dapat bekerja dengan baik dan menjamin keamanan peralatan maupun keselamatan manusia.

B. Saran

1. Disarankan kepada pihak PLN untuk mempertimbangkan penerapan metode counterpoise dengan menambahkan beberapa batang elektroda sebagai langkah strategis dalam menurunkan nilai tahanan pentanahan.
2. Selain metode ini, pengurangan gangguan akibat sambaran petir juga dapat didukung melalui pemasangan Transmission Lightning Arrester (TLA).
3. Alternatif lain yang dapat digunakan untuk meningkatkan efektivitas sistem pentanahan adalah dengan menerapkan metode mesh grounding, terutama pada lokasi dengan kondisi tanah yang kurang mendukung.

DAFTAR PUSTAKA

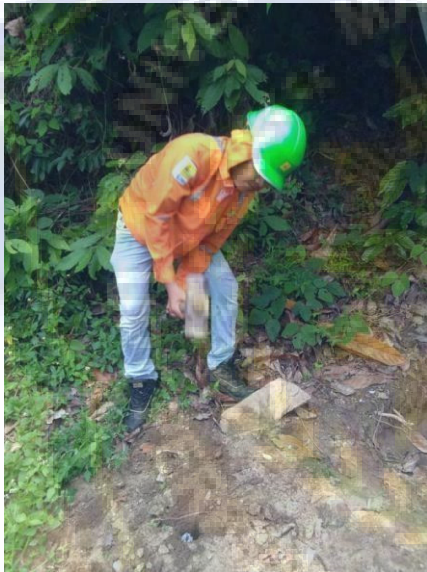
- Angga, Fitra. 2019. Studi Sistem Pentanahan Saluran Udara Tegangan Tinggi(SUTT) Penghantar 150 kV Lubuk Linggau – Pekalongan. Bengkulu: *Jurnal Surya Energy*.
- Ashar, A. R., Sofyan, & Abshar, M. U. (2020, Oktober 7). Analisis Resistansi Pentanahan Pada Menara Transmisi 150 kV Jalur Maros – Sungguminasa. *Prosiding Seminar Nasional Teknik Elektro dan Informatika (SNTEI) 2020*, Makassar. Jurusan Teknik Elektro, Politeknik Negeri Ujung Pandang.
- Arismunandar, Artono. 1990. *Teknik Tegangan Tinggi*. Jakarta : Pradnya Paramita.
- Chenghuan Lian, Yi Zhang. 2011. *Lightning Transient Characteristics Ota 500- kV Substation Grounding Grid*. China: *Asia-Pasific International Conference On Lightning IEEE*, 978-14577-5/11
- Idris, A. R., Usman, & Suyono, W. (2021). Analisis pengaruh pemasangan counterpoise pada tower transmisi saluran udara tegangan tinggi 70 kV Line Mandai-Pangkep. *Seminar Nasional Teknik Elektro dan Informatika (SNTEI)*.
- Ilham, A.M. 2016. *Mitigasi Gangguan Transmisi Akibat Sambaran Petir Line Sungguminasa – Maros*. Makassar: Jurusan Teknik Elektro Politeknik Negeri Ujung Pandang.
- KEPDIR No. 0520/1.K DIR 2014-Himp *Buku Pedoman dan Asesmen SUTT/SUTET. Saluran Udara Tegangan Tinggi dan Ekstra Tinggi (SUTT/SUTET)*. Jakarta : PT PLN (Persero)
- Noviarga, Y. R. (2020). *Evaluasi tahanan pentanahan kaki menara SUTT 150 KV Semen Indonesia incomer dengan metode counterpoise*. Universitas Islam Sultan Agung Semarang.
- Prasetyo, B. E., & Harijanto, P. S. (2022). Analisis perbaikan sistem pentanahan pada tower transmisi 150 KV terhadap sambaran petir menggunakan simulasi Alternative Transient Program (ATP). *Jurnal Teknik Ilmu dan Aplikasi*, 3(2), 61–68.

The logo of Universitas Muhammadiyah Makassar is a blue shield-shaped emblem. It features a central golden sunburst with a crescent and star. The text "UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH" is arched across the top, "MAKASSAR" is in the center, and "UPT PERPUSTAKAAN DAN PENERBITAN" is arched across the bottom. The shield is flanked by green laurel branches and white flowers.

LAMPIRAN



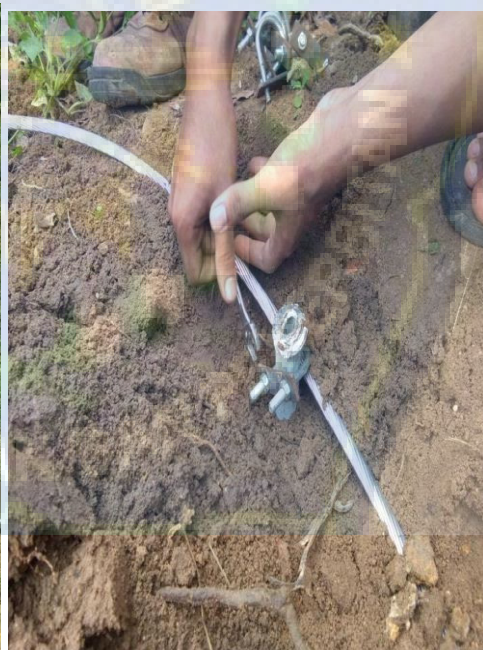
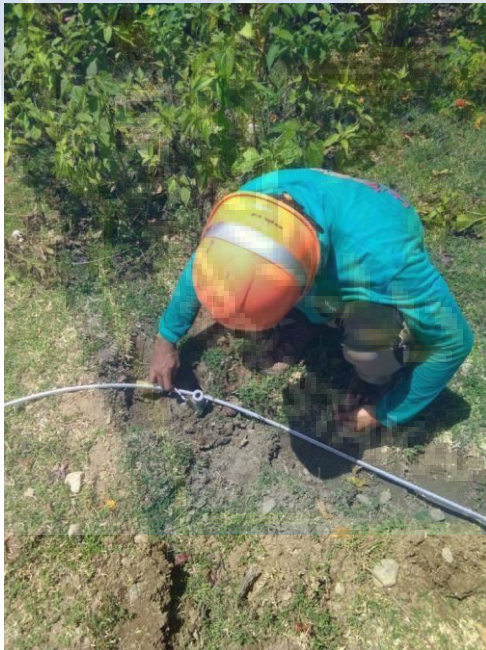
1. Persiapan Bahan dan Alat



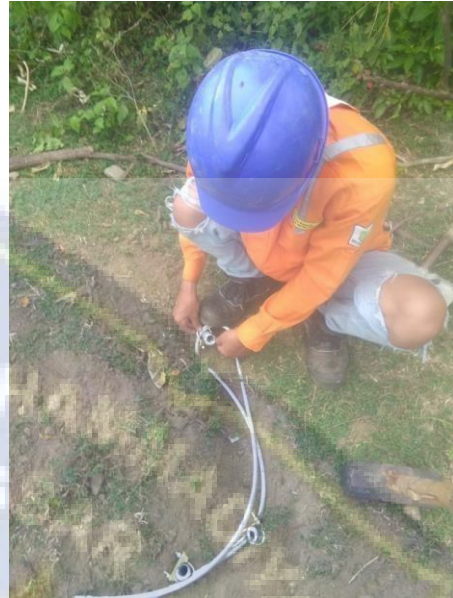
2. Penggalan Area Kerja



3. Penanaman Elektroda



4. Pemasangan Kawat ke dioda



5. Proses mengikat kawat dengan dioda



**MAJELIS PENDIDIKAN TINGGI PIMPINAN PUSAT MUHAMMADIYAH
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH MAKASSAR
UPT PERPUSTAKAAN DAN PENERBITAN**

Alamat kantor: Jl.Sultan Alauddin NO.259 Makassar 90221 Tlp.(0411) 866972,881593, Fax.(0411) 865588

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

SURAT KETERANGAN BEBAS PLAGIAT

**UPT Perpustakaan dan Penerbitan Universitas Muhammadiyah Makassar,
Menerangkan bahwa mahasiswa yang tersebut namanya di bawah ini:**

Nama : Dwiky Darmawan

Nim : 105821101317

Program Studi : Teknik Elektro

Dengan nilai:

No	Bab	Nilai	Ambang Batas
1	Bab 1	10%	10 %
2	Bab 2	3%	25 %
3	Bab 3	2%	10 %
4	Bab 4	1%	10 %
5	Bab 5	4%	5 %

Dinyatakan telah lulus cek plagiat yang diadakan oleh UPT- Perpustakaan dan Penerbitan Universitas Muhammadiyah Makassar Menggunakan Aplikasi Turnitin.

Demikian surat keterangan ini diberikan kepada yang bersangkutan untuk dipergunakan seperlunya.

Makassar, 19 Agustus 2025

Mengetahui,

Kepala UPT- Perpustakaan dan Penerbitan,


Nursinah, S.Hum. M.I.P.
NBM. 964 591

Jl. Sultan Alauddin no 259 makassar 90222
Telepon (0411)866972,881 593,fax (0411)865 588
Website: www.library.unismuh.ac.id
E-mail : perpustakaan@unismuh.ac.id