



TUGAS AKHIR

PENERAPAN METODE MULTI DIRECT GROUNDING (MDG) DALAM PERBAIKAN SISTEM PENTANAHAN LISTRIK PADA TOWER TRANSMISI

DISUSUN OLEH :

WILDAN ISTIKLAL

NIM : 202371568

**PROGRAM STUDI D-III TEKNOLOGI LISTRIK
SEKOLAH VOKASI
INSTITUT TEKNOLOGI PLN
JAKARTA 2026**

**PENERAPAN METODE MULTI DIRECT GROUNDING
(MDG) DALAM PERBAIKAN SISTEM PENTANAHAN
LISTRIK PADA TOWER TRANSMISI**

TUGAS AKHIR



INSTITUT TEKNOLOGI-PLN

Diajukan untuk Memenuhi Salah Satu Persyaratan
Guna Memperoleh Gelar Ahli Madya

DISUSUN OLEH :

WILDAN ISTIKLAL

NIM : 202371568

**PROGRAM STUDI D-III TEKNOLOGI LISTRIK
SEKOLAH VOKASI
INSTITUT TEKNOLOGI PLN
JAKARTA 2026**

PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR

Nama Mahasiswa : Wildan Istiklal
NIM : 202371568
Program Studi : D-III Teknologi Listrik
Fakultas/Sekolah : Sekolah Vokasi
Judul Tugas Akhir : Penerapan Metode Multi Direct Grounding (MDG)
dalam Perbaikan Sistem Pentanahan Listrik Pada Tower Transmisi

Dengan ini saya menyatakan bahwa dalam Tugas Akhir ini tidak terdapat karya yang pernah diajukan untuk memperoleh gelar Ahli Madya/Sarjana/Magister*) baik di lingkungan Institut Teknologi PLN maupun di suatu Perguruan Tinggi, dan sepanjang pengetahuan saya juga tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan oleh orang lain, kecuali yang secara tertulis diacu dalam naskah ini dan disebutkan dalam daftar pustaka. Pernyataan ini dibuat dengan penuh kesadaran dan rasa tanggung jawab serta bersedia bertanggung jawab segala resiko jika ternyata pernyataan ini tidak benar.

Jakarta, 11 Februari 2026



A handwritten signature in black ink, appearing to read 'Wildan Istiklal'.

(Wildan Istiklal)

LEMBAR PENGESAHAN TUGAS AKHIR

Judul Tugas Akhir : Penerapan Metode Multi Direct Grounding (MDG)
dalam Perbaikan Sistem Pentanahan Listrik Pada Tower
Transmisi
Nama Mahasiswa : Wildan Istiklal
NIM : 202371568
Program Studi : D-III Teknologi Listrik
Fakultas/Sekolah : Sekolah Vokasi

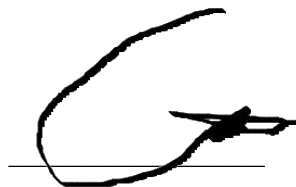
Disetujui oleh

Pembimbing I
Kartiria, S.T, M.T.
NIDN. 1025128101



Diketahui oleh,

Kepala Program studi
Ir. Sandi Budi Kurniawan, S.ST., M.Tr.T.
NIDN. 0309089002



Dekan/Direktur
Ir. Tony Koerniawan, S.T., M.T.
NIDN : 0325018402



Tanggal ujian : 23 Februari 2026

Tanggal lulus :

LEMBAR PENGESAHAN PENGUJI

Judul Tugas Akhir : Penerapan Metode Multi Direct Grounding (MDG)
dalam Perbaikan Sistem Pentanahan Listrik Pada Tower
Transmisi
Nama Mahasiswa : Wildan Istiklal
NIM : 202371568
Program Studi : D-III Teknologi Listrik
Fakultas/Sekolah : Sekolah Vokasi

Disetujui oleh

Ketua Penguji

Novi Gusti Pahiyanti, S.T.,M.T.
NIDN : 0301118501



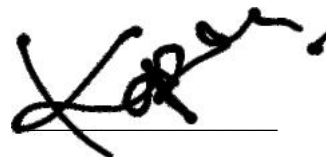
Anggota Penguji I

Munir Fasihu, S.T.,M.Sc.
NIDN : 1022127201



Anggota Penguji II/Pembimbing Tugas Akhir

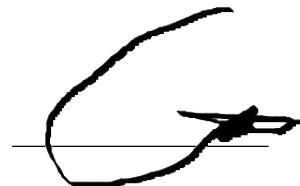
Kartiria, S.T, M.T.
NIDN : 1025128101



Diketahui oleh,

Kepala Program studi

Ir. Sandi Budi Kurniawan, S.ST., M.Tr.T.
NIDN : 0309089002



UCAPAN TERIMKASIH

Dengan ini saya menyampaikan penghargaan dan ucapan terimakasih yang sebesar-besarnya kepada yang terhormat :

Kartiria, S.T, M.T. Selaku Pembimbing Tugas Akhir

Novi Gusti Pahiyanti, ST., MT Selaku Pembimbing Akademik

Yang telah memberikan petunjuk, saran-saran serta arahan bimbingannya sehingga laporan Tugas Akhir ini dapat diselesaikan.

Terimakasih yang sama saya sampaikan kepada :

1. Istri tercinta, Hana Ameilia Arifin, atas segala doa, pengorbanan waktu, dan kasih sayang yang tiada henti mendampingi penulis dalam suka maupun duka selama masa studi.
2. Anak tersayang, Maryam Azmi Azzahra dan Sarah Huamirah Azzahra, yang kehadirannya selalu memberikan energi positif dan semangat baru bagi penulis untuk menyelesaikan tanggung jawab ini.
3. Bapak Auliyaurrahman (MULTG Surabaya Utara)
4. Bapak Pandu Prihantono (SPV Hargi Surabaya Utara)
5. Seluruh Rekan kerja ULTG Surabaya Utara

Penulis menyadari bahwa skripsi ini masih jauh dari sempurna. Oleh karena itu, kritik dan saran yang membangun sangat penulis harapkan. Akhir kata, semoga skripsi ini dapat memberikan manfaat bagi pembaca dan perkembangan ilmu pengetahuan.

Jakarta, 11 Februari 2026



Wildan Istiklal

NIM :202371568

HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI TUGAS AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIK

Sebagai sivitas akademika Institut Teknologi PLN, saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama Mahasiswa : Wildan Istiklal
NIM : 202371568
Program Studi : D-III Teknologi Listrik
Fakultas/Sekolah : Sekolah Vokasi
Judul Tugas Akhir : Penerapan Metode Multi Direct Grounding (MDG)
dalam Perbaikan Sistem Pentanahan Listrik Pada Tower Transmisi

Demi pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Institut Teknologi PLN Hak Bebas Royalti Non eksklusif (*Non- exclusive Royalty Free Right*) atas karya ilmiah saya. Beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan Hak Bebas Royalti Non eksklusif ini Institut Teknologi PLN berhak menyimpan, mengalih media/formatkan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (*database*), merawat, dan mempublikasikan *Proyek Akhir/Skripsi/Tesis saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Surabaya

Pada tanggal : 11 Februari 2026

Yang menyatakan,



(Wildan Istiklal)

ABSTRAK

WILDAN ISTIKLAL.

Penerapan Metode Multi Direct Grounding (MDG) dalam Perbaikan Sistem Pentanahan Listrik Pada Tower Transmisi

Dibimbing oleh KARTIRIA, S.T., M.T.

Sistem pentanahan pada tower transmisi merupakan elemen penting dalam menjaga keselamatan dan keandalan operasi sistem tenaga listrik. Nilai resistansi pentanahan yang tinggi pada kaki tower dapat menyebabkan arus gangguan dan arus petir tidak terdistribusi secara optimal ke tanah, sehingga meningkatkan risiko terjadinya back flashover serta gangguan operasional pada jaringan transmisi. Oleh karena itu, diperlukan metode perbaikan sistem pentanahan yang lebih efektif dan terstandarisasi. Penelitian ini membahas rencana penerapan metode **Multi Direct Grounding (MDG)** sebagai upaya perbaikan sistem pentanahan tower transmisi di lingkungan **PT PLN (Persero) UIT JBTB UPT Surabaya**. Metode MDG dilakukan dengan menambahkan beberapa elektroda pentanahan yang terhubung secara langsung dan terdistribusi di sekitar kaki tower. Implementasi MDG di UPT Surabaya direncanakan mulai tahun 2025, namun pada saat penelitian ini dilakukan masih berada pada tahap proses pelaksanaan pekerjaan. Oleh karena itu, analisis kinerja metode MDG dalam penelitian ini dilakukan menggunakan data hasil penerapan MDG dari unit transmisi lain yang telah terlebih dahulu mengimplementasikan metode tersebut, sebagai data pembanding dan simulasi teknis. Pengukuran resistansi pentanahan dilakukan menggunakan **Earth Tester** pada kondisi eksisting tower serta dianalisis kembali berdasarkan hasil pengukuran pasca pemasangan MDG pada unit pembanding. Hasil analisis menunjukkan bahwa nilai resistansi pentanahan awal tower transmisi sebesar **11,8 Ω** , yang belum memenuhi standar teknis PLN. Setelah penerapan metode MDG, nilai resistansi pentanahan menurun menjadi **3,4 Ω** , sehingga telah memenuhi batas standar yang dipersyaratkan ($\leq 5 \Omega$). Penurunan resistansi sebesar **71,2%** menunjukkan bahwa metode MDG efektif dalam menurunkan tahanan pentanahan, mengurangi risiko gangguan akibat petir, serta berpotensi meningkatkan keandalan proteksi dan kontinuitas penyaluran daya pada jaringan transmisi di UPT Surabaya.

Kata kunci: Sistem Pentanahan, Multi Direct Grounding, Tower Transmisi, Resistansi Pentanahan, Keandalan Sistem.

ABSTRACT

WILDAN ISTIKLAL.

Application of the Multi Direct Grounding (MDG) Method in Repairing Electrical Grounding
Systems on Transmission Towers

Supervised by KARTIRIA, S.T., M.T.

The grounding system of transmission towers is a critical component in maintaining the safety and reliability of power system operations. High grounding resistance at tower legs can prevent fault currents and lightning currents from being optimally dissipated into the ground, thereby increasing the risk of back flashover and operational disturbances in transmission networks. Therefore, a more effective grounding improvement method is required. This study discusses the planned implementation of the **Multi Direct Grounding (MDG)** method as an approach to improve the grounding system of transmission towers within **PT PLN (Persero) UIT JBTB UPT Surabaya**. The MDG method involves the installation of multiple grounding electrodes that are directly connected and distributed around the tower legs. The implementation of MDG in UPT Surabaya was planned to begin in 2025; however, at the time this study was conducted, the work was still in the execution process. Consequently, the performance analysis of the MDG method in this study was carried out using post-installation grounding data from other transmission units that had previously implemented MDG, serving as comparative data and technical simulation. Grounding resistance measurements were conducted using an **Earth Tester** under existing tower conditions and further analyzed based on post-MDG installation data from the reference units. The results indicate that the initial grounding resistance of the transmission tower was **11.8 Ω** , which did not comply with PLN technical standards. After the application of the MDG method, the grounding resistance decreased to **3.4 Ω** , meeting the required standard ($\leq 5 \Omega$). This reduction of **71.2%** demonstrates that the MDG method is effective in lowering grounding resistance, reducing the risk of lightning-related disturbances, and potentially improving protection reliability and power transmission continuity in the UPT Surabaya transmission network.

Keywords: Grounding System, Multi Direct Grounding, Transmission Tower, Grounding Resistance, System Reliability.

DAFTAR ISI

PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR.....	ii
LEMBAR PENGESAHAN TUGAS AKHIR.....	iii
LEMBAR PENGESAHAN PENGUJI.....	iv
UCAPAN TERIMKASIH.....	v
HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASITUGAS AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIK.....	vi
ABSTRAK.....	vii
ABSTRACT.....	viii
DAFTAR ISI.....	ix
DAFTAR TABEL.....	xi
DAFTAR GAMBAR.....	xii
BAB I.....	1
PENDAHULUAN.....	1
1.1. Latar Belakang.....	1
1.2. Rumusan Masalah.....	2
1.3. Tujuan.....	2
1.4. Manfaat.....	2
1.5. Ruang Lingkup Masalah.....	3
BAB II.....	4
TINJAUAN PUSTAKA.....	4
2.1. Landasan Teori.....	4
2.1.1 Penyaluran Transmisi.....	4
2.1.2 Tower Transmisi.....	6
2.1.3 Bagian Transmisi.....	10
2.1.4 Sistem Grounding Tower.....	13
2.1.5 Metode Multi Direct Grounding (MDG).....	14
2.2. Penelitian yang Relevan.....	16
BAB III.....	20
METODE PENELITIAN.....	20

3.1 Jenis Penelitian	20
BAB IV	28
HASIL DAN PEMBAHASAN	28
4.1 Identifikasi Masalah	28
4.2 Karakteristik Gangguan Petir pada Jaringan Transmisi	29
4.3 Analisa Statistik Gangguan Petir Tahun 2020-2025	32
4.4 Analisis Gangguan Berdasarkan Saluran Transmisi	36
4.5 Analisis Jenis Gangguan pada Jaringan Transmisi	40
4.5 Dasar Teori Sistem Pentanahan Menara Transmisi	40
4.6 Penerapan Metode Multi Direct Grounding (MDG) pada Jaringan Transmisi	42
4.7 Dampak Penerapan MDG terhadap Penurunan Gangguan Petir	45
4.8 Analisa Statistik Gangguan Petir dan Rencana Penerapan Multi Direct Grounding (MDG) di UPT Surabaya.	45
4.9 Pembahasan Hasil Asesmen Sistem Pentanahan Menara Transmisi	54
4.10 Pembahasan Rencana Pemasangan Multi Direct Grounding (MDG)	55
4.11 Analisis Keterkaitan Asesmen dan Rencana Pemasangan MDG	56
4.12 Implikasi Teknis terhadap Keandalan Jaringan Transmisi	57
BAB V	67
KESIMPULAN DAN SARAN	67
5.1 Kesimpulan	67
DAFTAR PUSTAKA	70
DAFTAR RIWAYAT HIDUP	72
DATA PRIBADI	72

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Penelitian yang Relevan	18
Tabel 4.1 Hasil Perbandingan R_{total} Exsisting dengan MDG SUTET New Tambun – Muaratawar	51
Tabel 4.2 Hasil Assemen Pentanahan	55
Tabel 4.3 Historis Gangguan	65
Tabel 4.4 Historis Perbaikan Pentanahan	66

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Flow Diagram Sistem Transmisi	5
Gambar 2.2 Tower	7
Gambar 2.3 Deskripsi Geometri Tower	9
Gambar 2.4 Bagian Transmisi	10
Gambar 4.1 Data Asset UPT Surabaya	28
Gambar 4.2 Pelepasan Muatan Listrik	30
Gambar 4.3 Kerapatan Petir Jawa Timur	31
Gambar 4.4 Statistik Gangguan	32
Gambar 4.5 Kali Gangguan	32
Gambar 4.6 Jenis Gangguan	33
Gambar 4.8.1 Arus Puncak Sambaran Petir	41
Gambar 4.8.2 Backflashover	43
Gambar 4.9 Historis Pemasangan MDG di UIT JBT	55
Gambar 4.9.1 Presentase Pemasangan MDG di UIT JBT	48
Gambar 4.9.2 Peta Usulan Pemasangan Multi Direct Grounding di UPT Surabaya	56
Gambar 4.9.3 Historis Gangguan Sambaran Petir di Vaisala	59
Gambar 4.9.4 Hasil CUI Isolator dan Fitting	60
Gambar 4.9.5 Hasil Pengukuran Pentanahan	61
Gambar 4.9.6 Hasil CUI Isolator dan Fitting	65

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

PLN saat ini merupakan satu-satunya perusahaan strategis yang bergerak di bidang ketenagalistrikan, hal ini menuntut agar PLN selalu tanggap terhadap adanya perubahan yang terjadi. Beberapa hal yang mempengaruhi jalannya bisnis dapat berasal dari internal maupun eksternal perusahaan,

Banyaknya kondisi peralatan yang mengalami sambaran petir sehingga tidak mampu menyalurkan energi listrik secara optimal pada tahun 2023 sampai 2025 sudah terjadi gangguan transmisi sekitar 10 kali, cukup banyaknya anomali yang berpotensi menurunkan keandalan instalasi, peralatan beroperasi > 20 tahun dan makin meningkatnya tuntutan pelanggan baik di sisi kapasitas maupun keandalan membuat UPT Surabaya melakukan perbaikan secara terus menerus guna meningkatkan kualitas pelayanan, untuk mewujudkan hal tersebut UPT Surabaya selalu berupaya melakukan mitigasi perbaikan dan menuangkan perbaikan-perbaikan tersebut ke dalam rencana kerja untuk kemudian dilakukan eksekusi.

Selaras dengan jalannya korporat dan melihat dari beberapa kondisi diatas, UPT Surabaya berupaya untuk mengidentifikasi isu-isu strategis yang saat ini sedang menjadi sorotan. Secara garis besar isu strategis terbagi menjadi 4 (empat), antara lain : Evakuasi Daya, Penurunan BPP dan Penurunan Kerawanan Sistem, Peningkatan Penjualan, Mendukung Keandalan dan Peningkatan Kualitas Layanan. Untuk mengatasi permasalahan tersebut, salah satu solusi teknis yang efektif adalah dengan menerapkan metode Multi Direct Grounding (MDG). Prinsip metode ini adalah memasang beberapa elektroda pentanahan secara paralel langsung ke tanah di beberapa titik, sehingga arus gangguan dapat tersebar ke banyak jalur konduksi. Dengan demikian, tahanan total sistem grounding dapat ditekan secara signifikan, dan kinerja sistem pentanahan menjadi lebih baik dibanding sistem tunggal (single grounding). Berdasarkan uraian tersebut penelitian ini

difokuskan pada penerapan metode Multi Direct Grounding (MDG) sebagai solusi dalam perbaikan sistem pentanahan listrik, guna menurunkan nilai tahanan pentanahan dan meningkatkan keandalan sistem proteksi.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang di atas, didapatkan rumusan masalah untuk pembahasan pada penelitian ini yaitu :

1. Bagaimana kondisi awal Geografis Letak tower transmisi?
2. Bagaimana hasil kontaminasi sambungan grounding di kaki tower ?
3. Bagaimana pengaruh metode MDG saat dilaksanakan pemasangan dan apa dampak metode MDG terhadap keandalan Transmisi dari cuaca buruk?

1.3 Tujuan

Melihat rumusan masalah di atas, penelitian ini bertujuan untuk :

1. Mengetahui bagaimana kondisi awal dari dampak geografis tower yang sering terkena sambaran petir
2. Mengetahui hasil kontaminasi sambungan tower terhadap grounding pada kaki-kaki tower
3. Mengetahui pengaruh metode MDG (Multi Direct Grounding) terhadap Penyaluran Transmisi

1.4 Manfaat

Dengan dilakukannya penelitian ini, manfaat yang di dapatkan sebagai berikut:

1. Memberikan dasar teknis penerapan MDG pada lingkungan UPT Surabaya.
2. Dapat mengetahui seberapa besar manfaat dilakukannya pemasangan dengan metode terhadap keadalan penyaluran.

3. Dengan adanya penelitian yang saya lakukan ini dapat menjadi referensi bagi peneliti selanjutnya supaya dapat dilakukan penelitian lebih lanjut dan mendalam.

1.5 Ruang Lingkup Masalah

Berdasarkan latar belakang di atas, untuk mendapat hasil yang diharapkan maka penulis membatasi pembahasan dengan membuat ruang lingkup masalah sebagai berikut :

1. Penelitian ini dilakukan hanya saat penyaluran dalam keadaan normal operasi.
2. Mengamati adanya pengaruh pemasangan grounding dengan metode MDG saat cuaca buruk terhadap sistem penyaluran Transmisi.
3. Menampilkan hasil perbandingan pengukuran sebelum dan sesudah penerapan metode.
4. Data diambil langsung melalui pengukuran di lapangan menggunakan eart tester serta perhitungan teoritis berdasarkan standar SPLN T5.012

BAB II

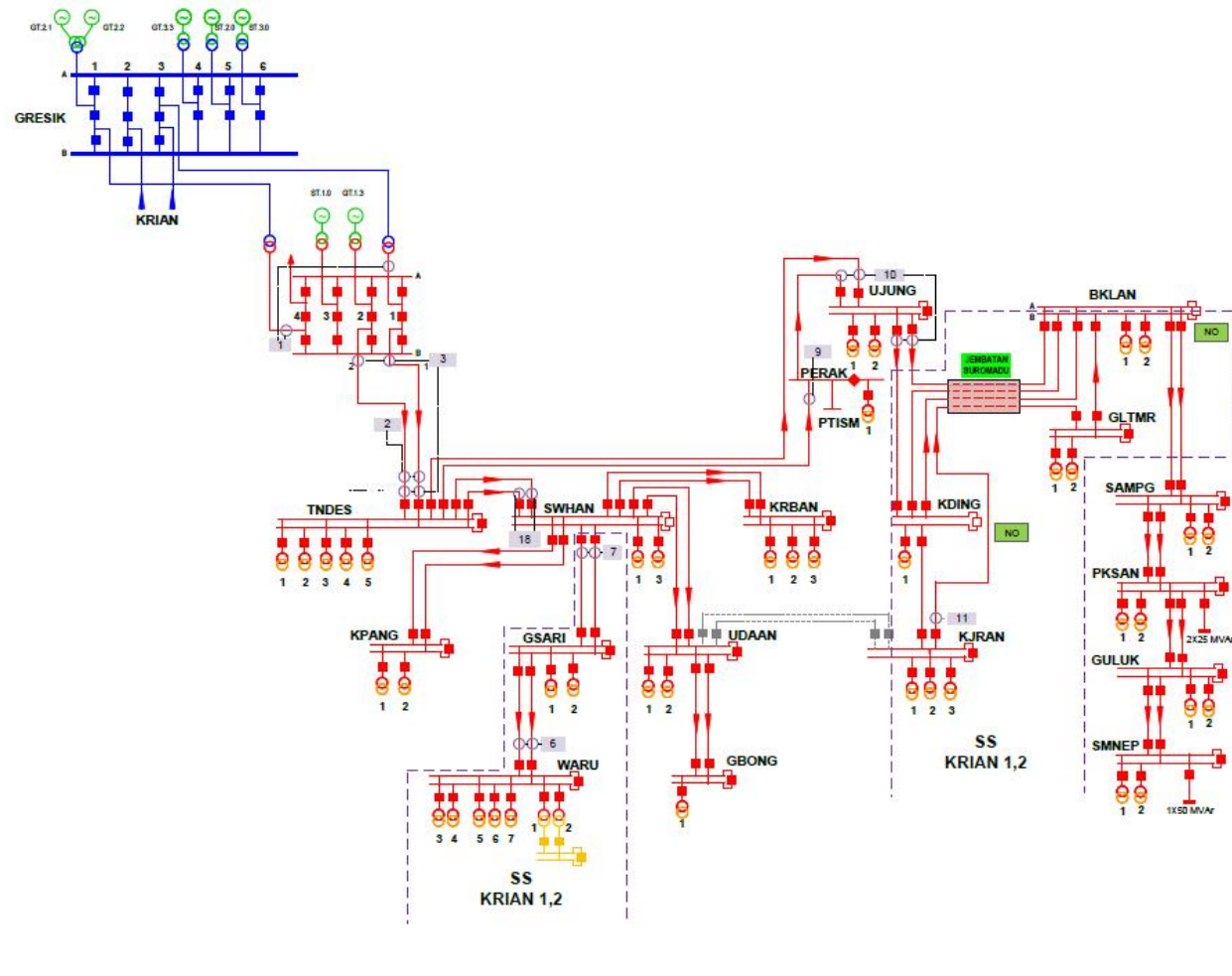
TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Landasan Teori

2.1.1 Penyaluran Transmisi

Sistem Penyaluran Transmisi adalah pendistribusian tegangan extra tinggi dari pembangkitan ke pusat beban (konsumen). Dimana proses yang di salurkan dimulai dengan menaikkan tegangan listrik di gardu induk, kemudian listrik disalurkan melalui saluran transmisi (seperti SUTET atau SUTT) ke gardu lain untuk penurunan tegangan sebelum akhirnya didistribusikan ke masyarakat.

Sistem transmisi dirancang untuk menyalurkan energi listrik dari satu titik ke titik lainnya dengan efisien dan aman, memungkinkan listrik dari pembangkit listrik menjangkau wilayah yang jauh sebelum sampai ke konsumen akhir. Oleh karena itu, apabila transmisi listrik mengalami gangguan maka akan mengakibatkan proses penyaluran energi listrik terganggu sehingga menyebabkan pemadaman listrik di daerah-daerah tersebut. Gangguan yang sering ditemui pada saluran transmisi khususnya saluran udara adalah gangguan eksternal yang berasal dari sambaran petir yang mengenai kawat fasa akibat terjadinya kegagalan perisai (shielding failure). shielding failure terjadi karena kawat tanah tidak mampu untuk melindungi kawat fasa terhadap sambaran petir. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui keandalan perisai terhadap sambaran petir. Metode yang digunakan adalah metode perbaikan grounding MDG (MULTI DIRECT GROUNDING). Pada besar arus maksimum kegagalan perisai dan daerah tak terlindungi (Xs) dipengaruhi oleh kemampuan sudut perisai. Pada gagal perisai dapat mengakibatkan petir yang menyambar pada suatu titik saluran udara transmisi yang dapat menyebabkan terjadinya Flashover pada isolator saluran udara tegangan tinggi tersebut. Faktor yang menyebabkan kegagalan perisai adalah sudut lindung, besar arus puncak petir dan desain menara transmisi.



Gambar 2.1 Flow Diagram Sistem Transmisi

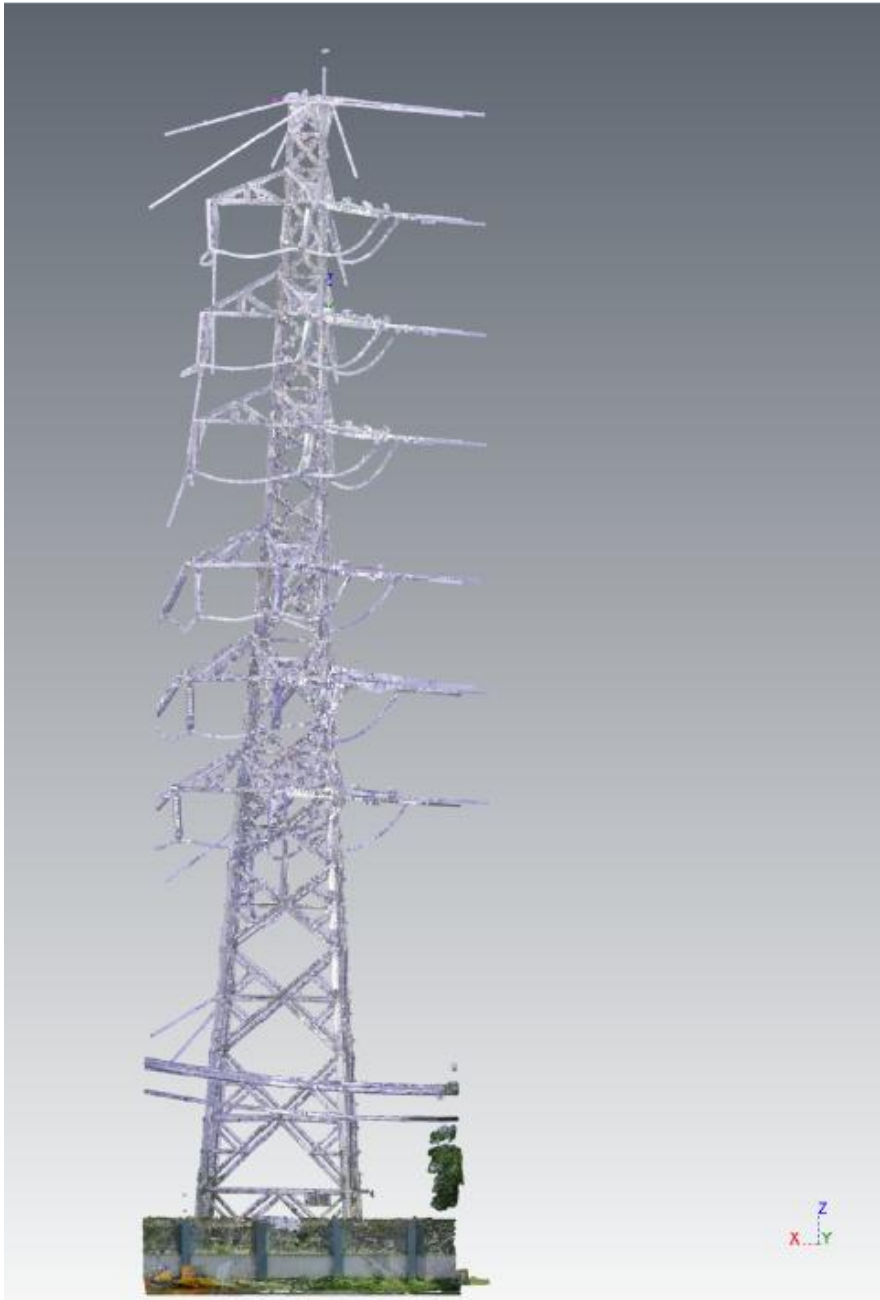
2.1.2 Tower Transmisi

Tower transmisi adalah struktur tinggi, umumnya menara kisi baja, yang berfungsi untuk menyangga kawat-kawat penghantar listrik pada saluran transmisi tegangan tinggi dari pembangkit ke pusat beban. Menara ini berfungsi menopang kabel listrik yang ditenangkan melalui isolator agar orang dan peralatan lain tidak tersengat listrik.

Konstruksi tower besi baja merupakan jenis konstruksi saluran transmisi tegangan tinggi (SUTT) ataupun saluran transmisi tegangan ekstra tinggi (SUTET) yang paling banyak digunakan di jaringan PLN, karena mudah dirakit terutama untuk pemasangan di daerah pegunungan dan jauh dari jalan raya, harganya yang relatif lebih murah dibandingkan dengan penggunaan saluran bawah tanah serta pemeliharaannya yang mudah. Namun demikian perlu pengawasan yang intensif, karena besi-besinya rawan terhadap pencurian. Seperti yang telah terjadi di beberapa daerah di Indonesia, dimana pencurian besi-besi baja pada menara/ tower listrik mengakibatkan menara/ tower listrik tersebut roboh dan penyaluran energi listrik ke konsumen pun menjadi terganggu.

Suatu menara atau tower listrik harus kuat terhadap beban yang bekerja padanya, antara lain yaitu:

1. Gaya berat tower dan kawat penghantar (gaya tekan).
2. Gaya tarik akibat rentangan kawat.
3. Gaya angin akibat terpaan angin pada kawat maupun badan tower.



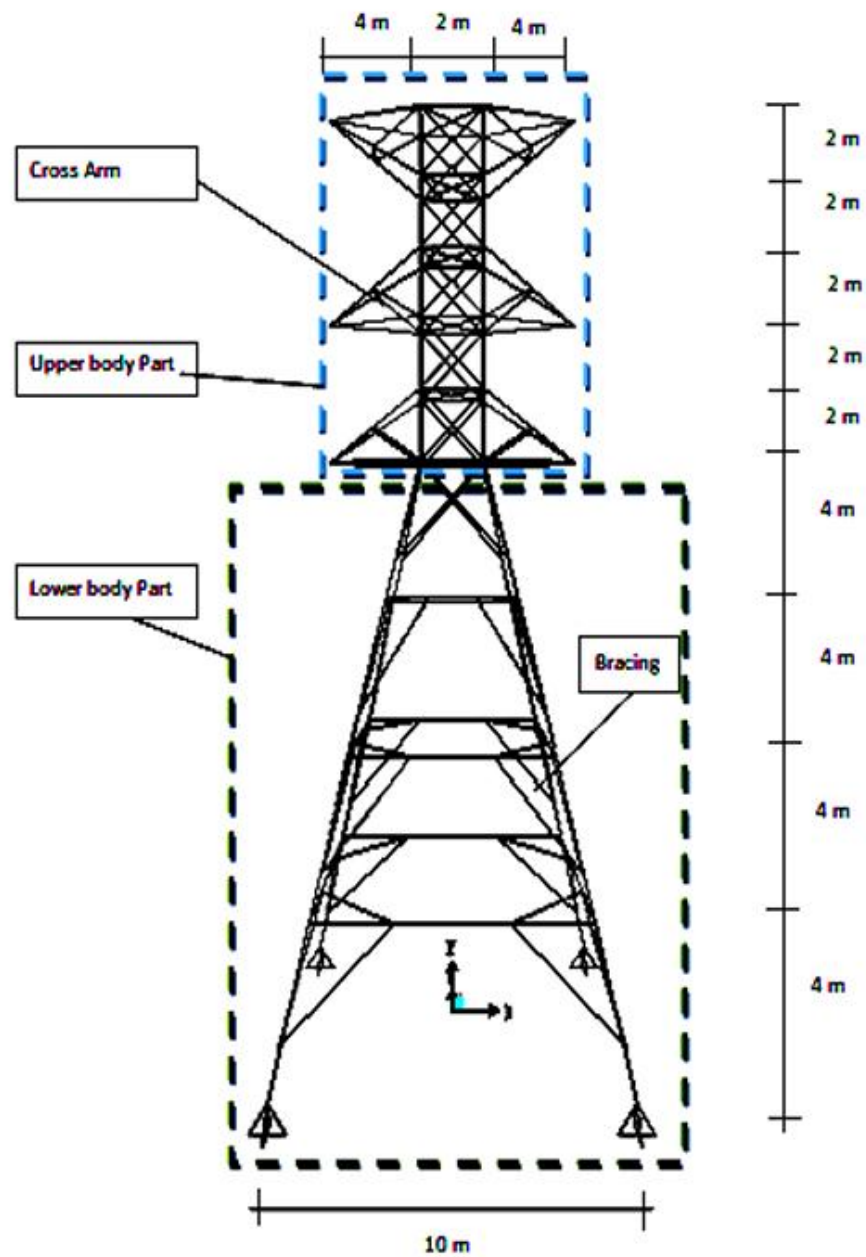
Gambar 2.2 Tower

(Dokumentasi Pribadi, September 2025)

Keandalan menara dalam menahan beban mekanis tersebut merupakan fondasi utama bagi kestabilan penyaluran energi listrik. Namun, integritas struktur fisik menara transmisi sebagai infrastruktur hulu juga memiliki implikasi sistemik yang luas hingga ke jaringan distribusi di sisi hilir. Sebagaimana hasil penelitian Pahiyanti et al. (2018), stabilitas parameter teknis pada jaringan distribusi sangat bergantung pada kondisi performa infrastruktur penyaluran yang menyuplainya. Oleh sebab itu, koordinasi proteksi yang andal sangat diperlukan untuk memitigasi gangguan sistem, selaras dengan penekanan Pahiyanti & Pasra (2019) mengenai vitalnya menjaga keandalan gardu dari faktor eksternal.

Guna mewujudkan keandalan tersebut, tower transmisi memerlukan sistem grounding untuk menyalurkan arus listrik berlebih atau sambaran petir ke tanah dengan aman, guna mencegah kerusakan peralatan dan bahaya bagi manusia. Pemasangan grounding tower dilakukan melalui kabel tanah atau kawat pelindung (shield wire) yang menghubungkan bagian atas tower ke kaki-kaki tower untuk kemudian ditanam ke dalam tanah sebagai elektroda.

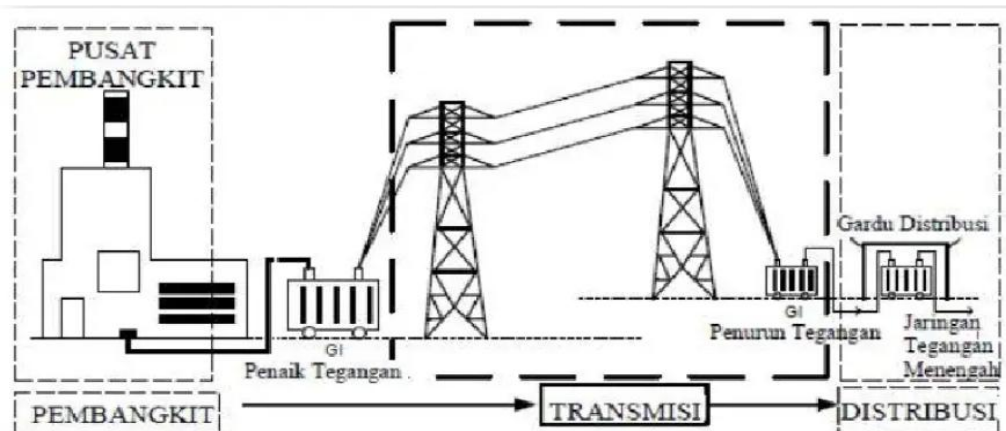
Tujuan utama pemasangan grounding tower adalah sebagai perlindungan dari petir, di mana kawat pelindung di puncak tower berfungsi menangkap sambaran petir langsung agar arus yang besar dapat dialirkan ke tanah melalui sistem grounding. Pentanahan yang efektif juga berfungsi sebagai pencegahan back flashover, yaitu loncatan arus dari kawat ke tower akibat tegangan petir yang terlalu besar karena resistansi tanah yang tinggi. Selain itu, sistem grounding yang baik akan menjamin keamanan manusia, meminimalkan kerusakan peralatan, serta menjaga keselamatan petugas atau masyarakat yang beraktivitas di sekitar lokasi tower.



Gambar 2.3 Deskripsi Geometri Tower.

2.1.3 Bagian Transmisi

Bagian utama dari sistem transmisi tenaga listrik yang ditopang oleh tower terdiri atas beberapa komponen penting yang berfungsi mendukung keandalan dan keselamatan penyaluran energi listrik. Pondasi menjadi elemen dasar yang ditanamkan ke dalam tanah untuk memberikan stabilitas serta mengikat seluruh struktur tower, biasanya terbuat dari beton bertulang. Di atas pondasi, terdapat kaki tower (leg) yang berfungsi menghubungkan stub pada bagian paling bawah dengan badan tower. Badan tower sendiri merupakan rangka utama yang terbagi menjadi common body (bagian bawah) dan super structure (bagian atas dengan ukuran lebih kecil). Selain itu, terdapat lengan silang (cross arm) yang berfungsi sebagai tempat menggantung isolator dan kawat penghantar (konduktor). Isolator, yang umumnya terbuat dari bahan keramik atau polimer, berperan penting dalam memisahkan konduktor dari struktur baja agar arus listrik tidak mengalir ke menara. Pada bagian puncak tower dipasang kawat petir (ground wire) untuk melindungi sistem transmisi dari sambaran petir. Tidak hanya itu, terdapat pula peralatan pendukung seperti rambu tanda bahaya, anti climbing device (ACD), step bolt, dan rambu identifikasi yang masing-masing berfungsi sebagai pengaman, pijakan teknisi, serta informasi identitas tower. Keseluruhan komponen tersebut membentuk sistem transmisi yang kokoh, aman, dan andal dalam penyaluran tenaga listrik jarak jauh..



Gambar 2.4 Bagian Transmisi.

1. Komponen Utama Tower dan Fungsinya

a. Pondasi Tower

Pondasi tower adalah struktur dasar yang bertanggung jawab menyalurkan seluruh beban tower (berat struktur, konduktor, dan gaya lingkungan seperti angin serta gempa) ke tanah, sehingga memastikan stabilitas dan keamanan struktur secara keseluruhan. Komponen utama pondasi adalah beton bertulang dan bagian stub (kaki tower) yang ditanam ke dalam pondasi.

Komponen Pondasi Tower

1. Pondasi (Beton Bertulang): Bagian dasar yang menopang langsung seluruh beban tower, memastikan distribusi beban merata ke tanah.
2. Stub (Kaki Tower): Bagian baja yang dipasang menyatu dengan pondasi, berfungsi sebagai titik pengikat antara pondasi dan struktur rangka tower.

Fungsi Pondasi Tower

1. Menyalurkan Beban: Pondasi mengalirkan semua beban tower, termasuk berat sendiri tower, beban angin, gaya tarik konduktor, serta gaya akibat gempa.
2. Memberi Stabilitas: Pondasi menjaga agar tower tidak mengalami pergeseran atau kemiringan akibat beban lateral maupun gaya tarik dari konduktor.
3. Mengikat Struktur Tower: Stub berfungsi sebagai jangkar yang menghubungkan pondasi dengan badan tower, memastikan integritas struktural keseluruhan.
4. Menahan Gaya Tarik dan Tekan: Pondasi didesain untuk menahan gaya tarik konduktor serta gaya tekan vertikal dari berat tower.

b. Kaki Tower (Leg)

Kaki tower adalah bagian vertikal yang menghubungkan stub dengan badan tower. Fungsinya adalah sebagai penopang utama yang menyalurkan beban dari badan tower menuju pondasi.

c. Badan Tower

Merupakan rangka utama tower yang terdiri dari:

1. Common Body: Bagian bawah dengan dimensi lebih besar untuk menopang beban utama.
2. Super Structure: Bagian atas dengan dimensi lebih kecil untuk menopang cross arm dan kawat petir.

d. Lengan Silang (Cross Arm)

Berfungsi menopang isolator dan konduktor, serta mendistribusikan gaya tarik dari kawat penghantar ke struktur tower.

e. Isolator

Komponen yang memisahkan konduktor dengan struktur baja. Terbuat dari keramik atau polimer, fungsinya mencegah arus mengalir ke tower.

f. Kawat Petir (Ground Wire)

Diposisikan di puncak tower untuk melindungi konduktor dari sambaran petir dengan menyalurkan arus petir ke sistem grounding.

g. Peralatan Pendukung

1. Rambu Tanda Bahaya: Memberikan peringatan di sekitar tower.
2. Anti Climbing Device (ACD): Alat pengaman di kaki tower agar tidak mudah dipanjat.
3. Step Bolt: Baut pijakan untuk teknisi dalam proses pemeliharaan.

2.1.4 Sistem Grounding Tower

Sistem grounding pada tower transmisi merupakan salah satu komponen penting dalam menjamin keselamatan dan keandalan sistem tenaga listrik. Grounding berfungsi untuk menyalurkan arus gangguan, baik yang disebabkan oleh **sambaran petir, hubungan singkat**, maupun gangguan tegangan lebih lainnya, langsung ke dalam tanah dengan aman. Melalui sistem grounding yang baik, energi listrik berlebih dapat diredam sehingga tidak merusak peralatan maupun membahayakan keselamatan manusia yang berada di sekitar tower.

Menurut **Hajar (2017)** dalam penelitiannya tentang desain pentanahan proteksi petir dengan sistem multiple vertical electrodes, resistansi grounding yang tinggi dapat meningkatkan risiko terjadinya **back-flashover** pada saluran transmisi. Back-flashover adalah loncatan balik dari kawat tanah menuju konduktor fase akibat tegangan lebih dari sambaran petir. Oleh karena itu, nilai resistansi pentanahan yang rendah menjadi syarat utama agar sistem transmisi dapat bekerja dengan aman dan andal.

Penelitian yang dilakukan oleh **Adiwibowo (2018)** mengenai evaluasi lightning performance pada SUTET 500 kV juga menegaskan bahwa kualitas grounding tower berpengaruh langsung terhadap performa proteksi petir. Sistem grounding dengan resistansi rendah mampu menyalurkan arus petir ke tanah lebih cepat, sehingga mengurangi kemungkinan gangguan listrik yang dapat merugikan pelanggan maupun merusak peralatan transmisi.

Lebih lanjut, **Purwono (2022)** dalam evaluasi kelayakan instalasi sistem tenaga listrik pada gedung menekankan pentingnya pemeliharaan berkala terhadap elektroda pentanahan. Seiring waktu, kualitas tanah dan kondisi elektroda dapat berubah akibat korosi atau berkurangnya kelembaban tanah, sehingga nilai resistansi dapat meningkat. Hal ini

menunjukkan perlunya inspeksi berkala serta perbaikan sistem grounding untuk memastikan tetap berada dalam standar yang berlaku.

Hajar dan Romadani (2023) melakukan analisis pengukuran tahanan pentanahan di Gardu Induk Angke PT PLN (Persero) UIT JBB dan menemukan bahwa nilai resistansi sangat dipengaruhi oleh kondisi sambungan serta kualitas instalasi elektroda. Dalam beberapa kasus, sambungan yang tidak sempurna menyebabkan kenaikan resistansi yang signifikan meskipun elektroda sudah dipasang sesuai standar. Hal ini membuktikan bahwa tidak hanya desain, tetapi juga kualitas instalasi menjadi faktor yang menentukan keberhasilan sistem grounding.

Sementara itu, penelitian oleh **Damiri (2024)** mengenai pemodelan sistem pembumian pada Gardu Induk 150 kV Tayan menggunakan perangkat lunak CYMGRD menunjukkan bahwa penggunaan **multi electrode grounding system** mampu menurunkan resistansi pentanahan secara signifikan. Selain itu, metode tersebut juga efektif dalam menurunkan tegangan sentuh (touch voltage) dan tegangan langkah (step voltage), sehingga lebih aman bagi manusia yang beraktivitas di sekitar tower.

Berdasarkan kelima penelitian tersebut, dapat disimpulkan bahwa sistem grounding tower memiliki peran vital dalam operasi transmisi tenaga listrik. Nilai resistansi grounding yang rendah, instalasi yang baik, serta pemeliharaan yang berkesinambungan merupakan kunci utama untuk mencapai keandalan sistem. Inovasi terbaru seperti **Multi Direct Grounding (MDG)** juga menjadi solusi menjanjikan untuk menurunkan resistansi pentanahan, khususnya di daerah dengan resistivitas tanah tinggi.

2.1.5 Metode Multi Direct Grounding (MDG)

Metode **Multi Direct Grounding (MDG)** merupakan salah satu inovasi dalam teknik pentanahan (grounding) yang bertujuan untuk menurunkan resistansi tanah secara signifikan dengan cara menambahkan beberapa elektroda pentanahan (ground rod) yang

dipasang secara paralel dan dihubungkan langsung ke sistem grounding tower. Konsep utama dari metode ini adalah memperbesar luas bidang pelepasan arus ke tanah, sehingga arus gangguan seperti sambaran petir maupun arus hubung singkat dapat disalurkan lebih cepat dan lebih aman.

Secara prinsip, resistansi tanah dipengaruhi oleh **resistivitas tanah (ρ)**, **panjang elektroda (L)**, **diameter elektroda (d)**, serta **jumlah elektroda yang dipasang**. Jika hanya menggunakan satu elektroda (single rod), maka kemampuan pelepasan arus terbatas. Namun, ketika digunakan beberapa elektroda yang ditanam pada jarak tertentu dan dihubungkan secara paralel, maka resistansi total dapat diturunkan sesuai dengan hukum paralel listrik. Hal ini berarti semakin banyak elektroda yang ditanam, semakin rendah resistansi sistem pentanahan yang dihasilkan.

Menurut **Hajar (2017)**, penggunaan metode multiple electrode mampu menurunkan resistansi tanah hingga di bawah $5\ \Omega$ meskipun pada daerah dengan resistivitas tinggi. Hal ini sejalan dengan hasil penelitian **Damiri (2024)**, yang menunjukkan bahwa sistem grounding dengan banyak elektroda tidak hanya efektif menurunkan resistansi, tetapi juga mengurangi **tegangan sentuh (touch voltage)** dan **tegangan langkah (step voltage)** yang berbahaya bagi keselamatan manusia.

Implementasi metode MDG umumnya dilakukan dengan cara memasang ground rod berbahan **tembaga berlapis baja (copper bonded steel)** atau **tembaga murni** dengan panjang 3–6 meter pada beberapa titik di sekitar pondasi tower. Jarak antar elektroda biasanya diatur 2–3 kali panjang elektroda agar bidang penyebaran arus tidak saling menumpuk. Setiap ground rod kemudian dihubungkan ke grounding bar atau titik netral tower menggunakan kabel tembaga berpenampang besar.

Penelitian **Adiwibowo (2018)** menegaskan bahwa semakin banyak jalur pelepasan arus yang tersedia, semakin kecil kemungkinan terjadinya loncatan balik (back-flashover) akibat resistansi tinggi. Hal ini penting terutama pada saluran udara tegangan ekstra tinggi

(SUTET), di mana gangguan petir merupakan salah satu penyebab utama terjadinya pemadaman luas (blackout).

Selain itu, **Purwono (2022)** menekankan pentingnya pemeliharaan berkala pada sistem grounding. Meskipun metode MDG mampu memberikan hasil yang signifikan pada awal pemasangan, faktor lingkungan seperti kelembaban tanah, korosi pada elektroda, dan kualitas sambungan tetap dapat memengaruhi kinerja sistem dalam jangka panjang. Oleh karena itu, metode MDG akan optimal apabila disertai dengan **inspeksi berkala, pengukuran periodik resistansi tanah, dan perawatan sambungan elektroda**.

Lebih lanjut, penelitian **Hajar & Romadani (2023)** menemukan bahwa resistansi pentanahan tidak hanya bergantung pada jumlah elektroda, tetapi juga sangat dipengaruhi oleh kualitas instalasi dan material yang digunakan. Pemasangan yang kurang baik dapat menyebabkan nilai resistansi tetap tinggi meskipun jumlah elektroda sudah diperbanyak. Dengan demikian, keberhasilan penerapan metode MDG tidak hanya terletak pada desain, tetapi juga pada kualitas instalasi di lapangan.

Dari uraian di atas, dapat disimpulkan bahwa metode MDG merupakan solusi efektif untuk memperbaiki sistem pentanahan tower transmisi, terutama di wilayah dengan resistivitas tanah tinggi. Dengan penerapan yang tepat, resistansi tanah dapat diturunkan hingga sesuai standar **IEEE Std 80-2013** maupun standar internal **PT PLN ($\leq 3 \Omega$)**. Penerapan metode ini di **UPT Surabaya pada tahun 2025** menjadi langkah inovatif yang penting sebagai rujukan teknis bagi pengembangan sistem grounding di wilayah lain.

2.2. Penelitian yang Relevan

Pada penelitian ini penulis melakukan tinjauan literatur dari beberapa penelitian terdahulu yang berkaitan dengan sistem grounding dan penerapan metode pentanahan berlapis (multi electrode/MDG). Referensi diperoleh dari jurnal, artikel, dan penelitian terdahulu. Beberapa di antaranya adalah sebagai berikut:

1. Ibnu Hajar (2017) dalam jurnal berjudul “Disain Sistem Pentanahan Proteksi Petir Sistem Multiple Vertical Electrodes pada Terminal Lawe-Lawe – Pertamina DHP” menyatakan bahwa penggunaan beberapa elektroda vertikal secara paralel mampu menurunkan nilai resistansi tanah hingga di bawah 5Ω meskipun pada tanah dengan resistivitas tinggi. Hasil ini menunjukkan keefektifan metode multi electrode sebagai dasar penerapan MDG.
2. Dj. Damiri (2024) dalam penelitian “Pemodelan Sistem Pembumian Pada Gardu Induk 150 kV Tayan, Kalimantan Barat Menggunakan Grid Analysis CYMGRD” menjelaskan bahwa sistem grid grounding yang menggunakan banyak elektroda terdistribusi dapat memperbaiki penyebaran arus ke tanah dan menurunkan tegangan sentuh serta tegangan langkah. Hal ini sejalan dengan prinsip dasar MDG.
3. Hajar & D. Romadani (2023) dalam artikel “Analisa Hasil Pengukuran Tahanan Pentanahan Pada Peralatan di Switchyard Gardu Induk Angke PT. PLN (Persero) UIT – JBB Duri Kosambi” menunjukkan bahwa nilai tahanan pentanahan sangat dipengaruhi oleh kondisi sambungan dan kontaminasi tanah. Oleh karena itu, metode MDG yang menggunakan banyak jalur pentanahan dianggap lebih handal dalam menjaga keandalan sistem.
4. T.S. Adiwibowo (2018) dalam penelitian “Perancangan Proteksi Petir SUTET 500 kV: Evaluasi Lightning Performance” menegaskan bahwa performa proteksi petir sangat bergantung pada kualitas sistem grounding tower. Semakin rendah resistansi pentanahan, semakin kecil kemungkinan terjadinya back-flashover. Penelitian ini relevan untuk mendukung penerapan MDG pada tower transmisi.
5. E.Y. Purwono (2022) dalam jurnal “Evaluasi Kelayakan Instalasi Gedung TTSK 3 Lantai PT...” juga menekankan pentingnya inspeksi berkala dan peningkatan kualitas sistem pentanahan agar tetap sesuai standar IEEE dan PLN. Penelitian ini menjadi acuan dalam hal pemeliharaan grounding setelah penerapan MDG.
6. Dari tinjauan literatur tersebut, dapat disimpulkan bahwa metode Multi Direct Grounding (MDG) yang melibatkan pemasangan beberapa elektroda paralel sangat efektif untuk menurunkan resistansi pentanahan dan meningkatkan keandalan

proteksi sistem transmisi. Namun, penerapan metode ini di UPT Surabaya tahun 2025 merupakan yang pertama kali dilakukan, sehingga penelitian ini diharapkan dapat memberikan data lapangan sebagai rujukan implementasi ke depan.

Tabel 2.1 Penelitian yang Relevan

No	Peneliti & Tahun	Judul Penelitian	Hasil / Temuan Utama	Keterkaitan dengan MDG
1	Ibnu Hajar (2017)	Desain Sistem Pentanahan Proteksi Petir Sistem Multiple Vertical Electrodes	Beberapa elektroda paralel menurunkan resistansi $< 5 \Omega$	Dasar konsep MDG
2	Dj. Damiri (2024)	Pemodelan Sistem Pembumian pada Gardu Induk 150 kV Tayan	Grid grounding memperbaiki distribusi arus & menurunkan tegangan sentuh/langkah	Sejalan dengan prinsip MDG
3	I. Hajar & D. Romadani (2023)	Analisa Hasil Pengukuran Tahanan Pentanahan pada Switchyard GI Angke	Nilai tahanan dipengaruhi kondisi sambungan & tanah	MDG menjaga keandalan meski kondisi tanah kurang baik

4	T.S. Adiwibowo (2018)	Perancangan Proteksi Petir SUTET 500 kV	Grounding berkualitas menurunkan risiko back- flashover	MDG menekan risiko flashover
---	--------------------------	---	---	---------------------------------

BAB III

METODE PENELITIAN

3.1 Jenis Penelitian

Penelitian ini merupakan penelitian eksperimen lapangan dengan pendekatan kuantitatif, yaitu melakukan pemasangan **Multi Direct Grounding (MDG)** pada tower transmisi dan membandingkan hasil pengukuran resistansi sebelum dan sesudah pemasangan. Pentanahan pada jaringan transmisi bertujuan untuk menjamin keselamatan personel, menjaga keandalan peralatan, dan mengendalikan tegangan sentuh serta tegangan langkah terutama saat terjadi gangguan seperti back-flashover. Berdasarkan SPLN T5.012:2020, nilai tahanan pembumian tower transmisi pada gardu induk harus memenuhi batas berikut:

$$66 \text{ kV} : \leq 3 \, \Omega$$

$$150 \text{ kV} : \leq 3 \, \Omega$$

$$275 \text{ kV} : \leq 3 \, \Omega$$

$$500 \text{ kV} : \leq 1 \, \Omega$$

Nilai tahanan ini dapat dicapai melalui metode pembumian langsung pada kaki tower, pembumian pondasi, atau kombinasi dengan metode counterpoise. Pada kondisi tertentu, terutama saat risiko back-flashover tinggi, diperlukan nilai tahanan yang lebih rendah untuk menjaga keandalan sistem proteksi dan menjaga kestabilan sistem tenaga. Metode ini dipilih karena mampu memberikan gambaran nyata mengenai efektivitas pemasangan beberapa elektroda paralel terhadap penurunan resistansi tanah.



3.1 Flowchart Penelitian

3.2 Lokasi dan Sampel Penelitian

Lokasi penelitian dilakukan pada tower transmisi milik PT. PLN UIT JBTB UPT Surabaya. Sampel penelitian adalah beberapa tower dengan nilai resistansi awal diatas standart 3-5 ohm sesuai IEE Std 80 dan Standar PLN T5.012 - Pembedaan pada Gardu Induk dan Jaringan Transmisi. Sampel penelitian berupa satu tower transmisi dengan empat kaki pondasi, yang masing-masing dikopel ke grounding bar tower.

3.3 Alat dan Bahan Penelitian

Untuk menunjang penelitian, digunakan peralatan dan material sebagai berikut:

1. Ground Rod/ Elektroda Pentanahan : Pipa galvanize Ø2 inch dengan panjang 3 meter, berfungsi sebagai elektroda tambahan untuk pelepasan arus gangguan ke tanah
2. Kabel Penghubung: Kabel A3CS 70 mm² untuk menghubungkan elektroda tambahan dengan grounding bar tower.
3. Besi Siku: Besi siku 50x50x5 mm hot-dip galvanize untuk memperkuat struktur penghubung.
4. U-Clip & Mur Baut: M12x60 mm grade 8.8, hot-dip galvanize untuk memperkuat sambungan mekanis.
5. Skun/ Lug: Skun AL 70 mm sebagai konektor kabel dengan elektroda.
6. Backfill Material: Chemical backfill konduktif digunakan untuk menurunkan resistansi tanah di area dengan resistivitas tinggi.
7. Beton Bertulang: Campuran beton 1:2:3 untuk melapisi dan melindungi kepala elektroda dari kerusakan mekanis.
8. Eart Tester (3-Pole): Alat ukur tahanan pentanahan dengan metode fall-of-potential
9. Peralatan Pendukung: GPS untuk menentukan posisi elektroda, kamera untuk dokumentasi, dan lembar pengukuran lapangan.

3.4 Prosedur Penelitian

Proses penelitian dilakukan melalui beberapa tahap sistem sebagai berikut:

1. Survei Awal dan Persiapan

1. Melakukan pengukuran resistivitas tanah menggunakan metode Wenner untuk menentukan kondisi awal.
2. Melakukan pengukuran resistansi pentanahan tower dengan Earth Tester 3-pole.
3. Menentukan titik-titik pemasangan elektroda tambahan di sekitar pondasi tower (depan, belakang kanan-kiri, samping kanan-kiri).

2. Langkah-Langkah Pemasangan Elektroda Tambahan (Metode MDG)

2.1. Persiapan

2.1.1. Pengawas Pekerjaan

1. Memimpin briefing untuk menjelaskan pembagian tugas dan tanggung jawabnya.
2. Memastikan kesiapan personil dalam kondisi baik dan siap.
3. Memastikan kesiapan peralatan sesuai fungsi dan kegunaannya.
4. Menyatakan pekerjaan akan dimulai.
5. Mengawasi pekerjaan selama pekerjaan berlangsung.

2.1.2. Pengawas K3

1. Memastikan bahwa semua persyaratan K3 sudah dipenuhi sesuai fungsi dan kegunaannya.
2. Memastikan kesehatan personil dalam kondisi sehat.
3. Menjelaskan potensi bahaya serta cara pengendaliannya.
4. Memimpin doa agar diberikan kelancaran dan keselamatan sebelum pekerjaan.
5. Menghentikan pelaksanaan pekerjaan bila persyaratan K3 tidak/belum terpenuhi.
6. Mengawasi keselamatan K3 hingga pekerjaan selesai.

2.2. Pelaksanaan Pekerjaan

1. Menyiapkan material dan peralatan kerja pemasangan MDG sesuai fungsi dan kegunaannya.

INSTRUKSI KERJA PEMASANGAN MULTI DIRECT GROUNDING (MDG)

2. Lakukan penarikan material earth wire MDG sebanyak 4 tarikan dari bawah sampai ke atas tower menggunakan tambang.
3. Dibagian atas tower hubungkan material earth MDG dengan earth wire tower eksisting menggunakan PG Clamp ke masing-masing Line/Penghantar.
4. Pasangkan cover konduktor pada bagian earth MDG yang menyentuh bagian tower.
5. Di bagian bawah tower earth wire MDG dihubungkan langsung ke rod grounding menggunakan schoen/sepatu kabel.
6. Lakukan pemasangan rod grounding dengan ditanam sedalam 3 meter sesuai panjang rod grounding dan 0,5 meter jarak permukaan tanah terhadap ujung rod grounding.
7. Lakukan pengukuran tahanan pentanahan dengan cara mengukur individu masing-masing ujung rod pentanahan tanpa dihubungkan dengan earth wire (arah tower).
8. Pastikan hasil ukur masing-masing rod MDG kurang dari 3 ohm, jika belum tercapai lakukan modifikasi seperti penanaman rod grounding lebih dalam lagi, penambah jumlah rod grounding atau metode pentanahan lainnya.
9. Lakukan penggabungan (paralel) rod MDG dan rod eksisting (MRG/pentanahan asli tower) dan ukur nilai tahanan pentanahan masing-masing rod (MDG, MRG dan atau pentanahan asli tower) pastikan hasil perhitungan parallel kurang dari 3 ohm.
10. Lakukan penggalian dan tanam konduktor penghubung tahap no 9 tersebut sedalam minimal 50 cm.
11. Lakukan pemasangan counter LA pada salah satu earth MDG (opsional) diusahakan minimal tiap 5 tower terpasang 1 counter.
12. Pekerjaan pemasangan *Multi Direct Grounding* (MDG) telah selesai dilaksanakan.

INSTRUKSI KERJA PEMASANGAN MULTI DIRECT GROUNDING (MDG)

2.3. Pekerjaan Selesai

2.3.1. Pengawas Pekerjaan

1. Menyatakan pekerjaan pemasangan *Multi Direct Grounding* (MDG) telah selesai dilaksanakan.
2. Melakukan evaluasi pelaksanaan pekerjaan.

2.3.2. Pengawas K3

1. Memimpin doa setelah pekerjaan selesai.

3. Pengukuran Ulang Resistansi

Setelah pemasangan elektroda selesai, dilakukan pengukuran ulang resistansi pentanahan menggunakan Earth Tester dengan metode fall-of-potential.

4. Analisis dan Validasi Data

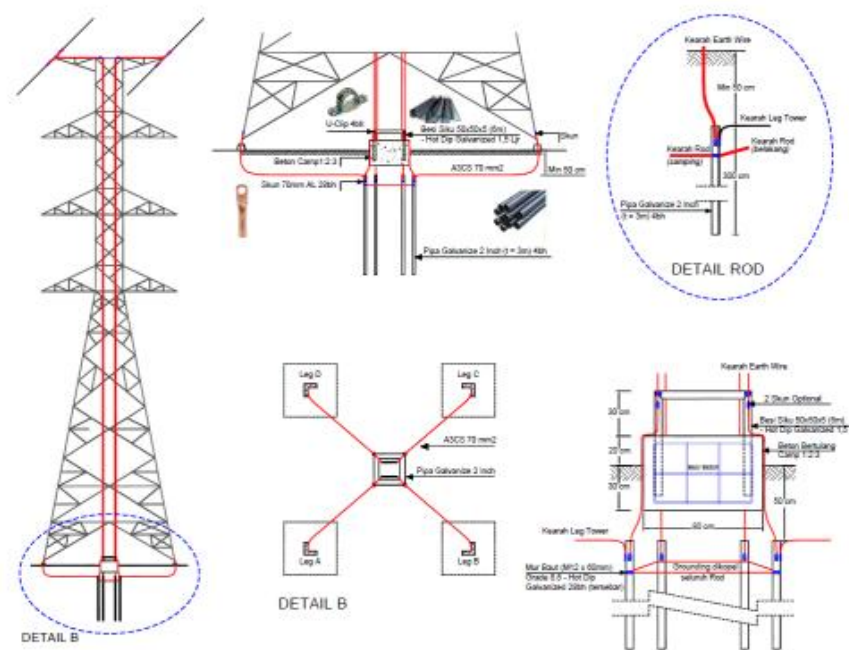
1. Hasil pengukuran resistansi dibandingkan antara kondisi **sebelum** dan **sesudah** penerapan MDG.
2. Nilai resistansi kemudian dievaluasi terhadap standar PLN ($\leq 3 \Omega$) dan IEEE Std 80-2013 ($\leq 5 \Omega$).

Persentase penurunan resistansi dihitung menggunakan rumus:

$$\% \text{ Penurunan} = \frac{R_{awal} - R_{akhir}}{R_{awal}} \times 100\% \dots\dots\dots (1)$$

3.5 Diagram Skema Metode MDG

Untuk memperjelas metode yang digunakan, skema sistem grounding dengan metode MDG ditunjukkan pada **Gambar 3.1**.



Gambar 3.2 Skema Pemasangan Multi Direct Grounding (MDG) pada Tower Transmisi

(Gambar ini memperlihatkan tower dengan pondasi, 5 elektroda tambahan yang ditempatkan di sekitar pondasi, dihubungkan dengan kabel A3CS 70 mm² ke grounding bar tower, serta dilindungi soket beton).

3.6 Teknik Analisis Data

Analisis data dilakukan secara kuantitatif dengan langkah-langkah berikut:

1. Menyusun tabel hasil pengukuran resistansi sebelum dan sesudah MDG.
2. Menghitung rata-rata nilai resistansi dari setiap titik pengukuran.
3. Menghitung persentase penurunan resistansi setelah penerapan MDG.
4. Membandingkan hasil dengan standar IEEE Std 80-2013 dan pedoman PLN.

5. Menarik kesimpulan mengenai efektivitas metode MDG terhadap peningkatan keandalan sistem pentanahan tower transmisi.

3.7 Jadwal Penelitian

Penelitian ini dilakukan dalam rentang waktu 6 bulan dimulai dari tanggal 01 September 2025 hingga 31 Januari 2026

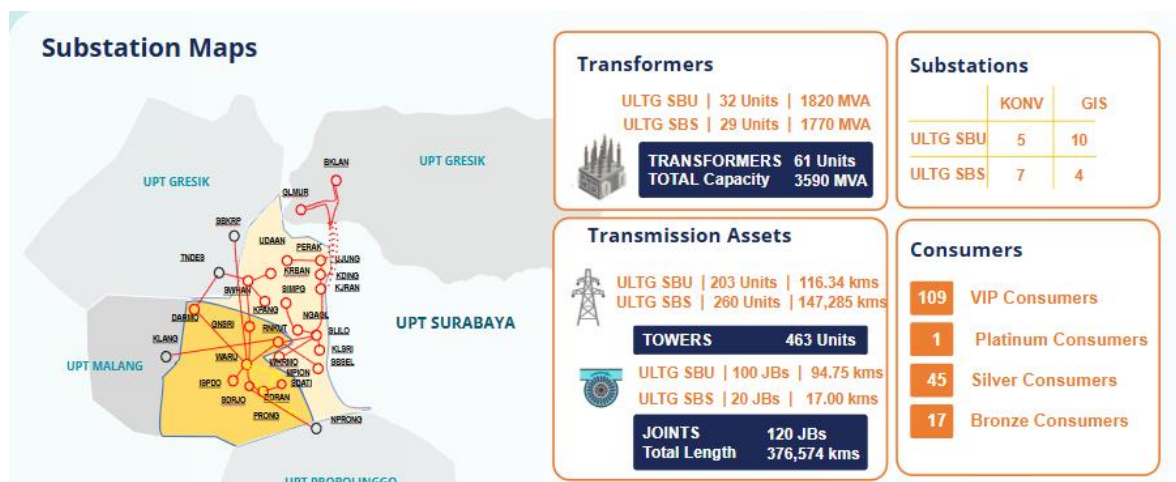
BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Identifikasi Masalah

PT PLN (Persero) Unit Pelaksana Transmisi Surabaya adalah salah satu unit operasional yang mengelola sistem transmisi tenaga listrik 70 kV dan 150 kV.

Mengelola asset transmisi sepanjang 376,574 Kms dan 61 unit trafo tenaga dengan total kapasitas 3590 MVA.



Gambar 4.1 Data Asset UPT Surabaya

Saluran Udara Tegangan Tinggi (SUTT) yang menjadi asset Wilayah kerja UPT Surabaya terletak pada dua daerah metropolitan yaitu Kota Surabaya dan Kabupaten Sidoarjo. Berikut daftar asset PT PLN (Persero) Unit Pelaksana Transmisi Surabaya :

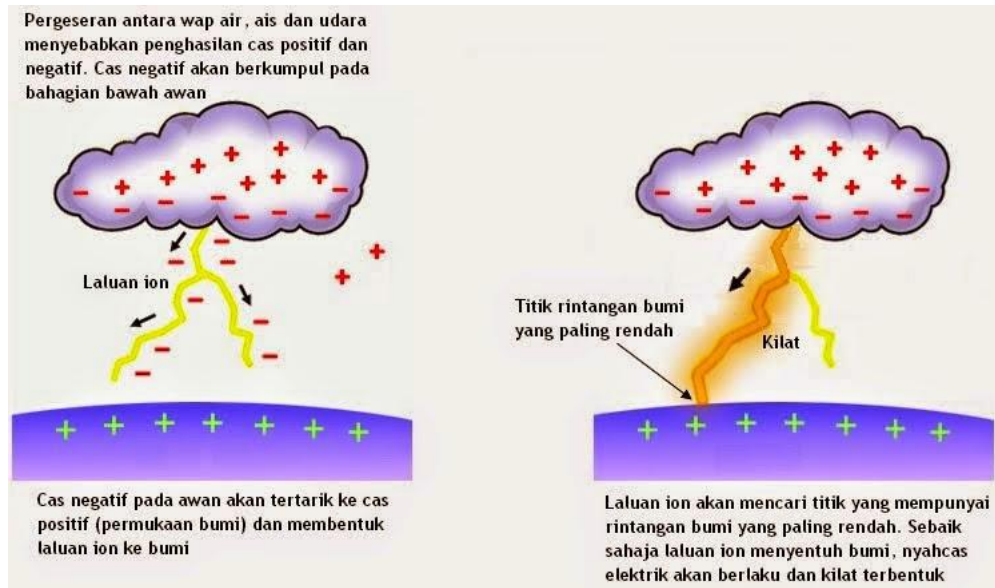
1. SUTT 150 kV Sawahan - Krembangan 1 dan Sawahan - Krembangan 2
2. SUTT 150 kV Sawahan - Gunungsari 1 dan Sawahan - Gunungsari 2
3. SUTT 150 kV Gunungsari - Waru 1 dan Gunungsari - Waru 2
4. SUTT 150 kV Waru - Ispatindo 1 dan Waru - Ispatindo 2
5. SUTT 150 kV Waru - Darmogrande 1 dan Waru - Darmogrande 2

6. SUTT 150 kV Waru - Sidoarjo, Waru - Buduran dan Buduran - Sidoarjo
7. SUTT 70 kV Maspion - Buduran 1 dan Maspion - Buduran 2
8. SUTT 150 kV Waru - Rungkut 1 dan Waru - Rungkut 2
9. SUTT 150 kV Rungkut - Surabaya Selatan 1 dan Rungkut - Surabaya Selatan 2
10. SUTT 150 kV Rungkut - Sukolilo 1 dan Rungkut - Sukolilo 2
11. SUTT 150 kV Sukolilo - Kenjeran 1 dan Sukolilo - Kenjeran 2
12. SUTT 150 kV Sukolilo - Kalisari 1 dan Sukolilo - Kalisari 2
13. SUTT 150 kV Kenjeran - Kedinding, Kedinding - Ujung, Kenjeran - Gilitimer & Ujung - Bangkalan
14. SUTT 150 kV Tandes - Perak, Tandes - Ujung & Peraj - Ujung

4.2 Karakteristik Gangguan Petir pada Jaringan Transmisi

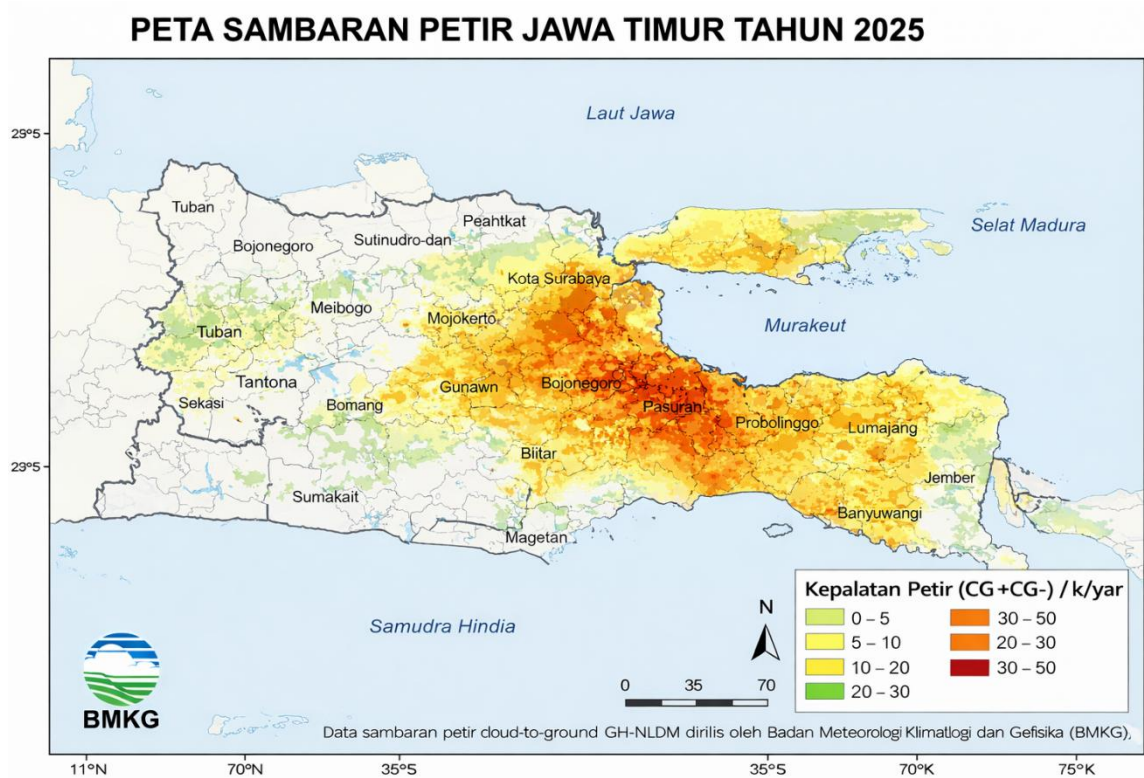
Jaringan transmisi tenaga listrik memiliki karakteristik yang berbeda dibandingkan jaringan distribusi, baik dari sisi level tegangan, panjang saluran, tinggi menara, maupun eksposur terhadap sambaran petir. Dengan bentangan saluran yang panjang dan posisi konduktor yang berada pada ketinggian, jaringan transmisi sangat rentan terhadap sambaran petir langsung (direct stroke) maupun induksi petir tidak langsung (indirect stroke).

Mekanisme terjadinya petir dapat dijelaskan sebagai berikut :



Gambar 4.2 Pelepasan Muatan Listrik

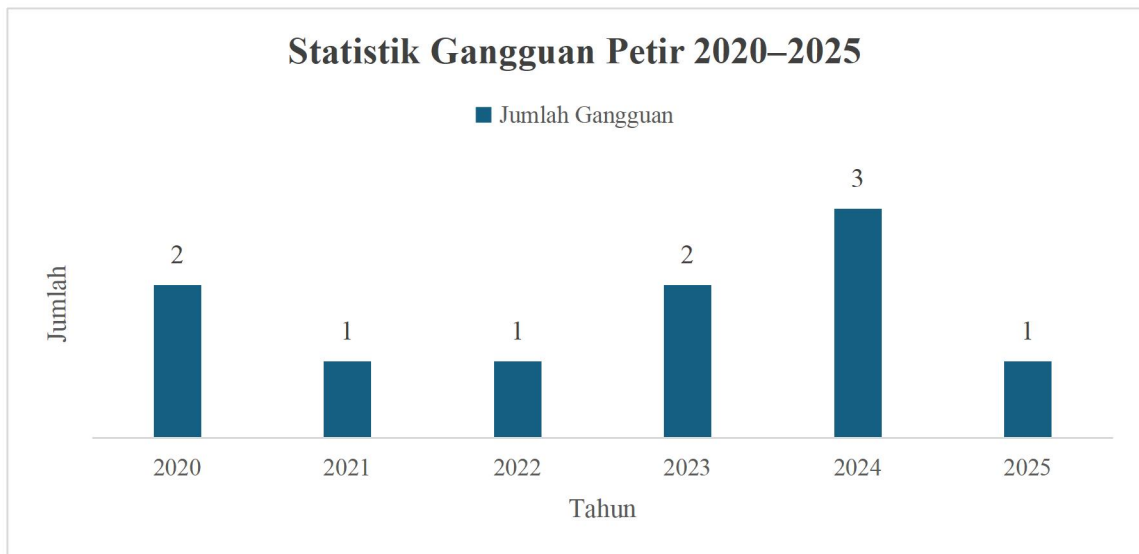
Dibandingkan negara-negara di dunia kerapatan petir di Indonesia merupakan salah satu yang tertinggi salah satunya di wilayah Jawa Timur. Paparan sambaran petir pada saluran transmisi dapat di pengaruhi oleh kerapatan petir yang tinggi.



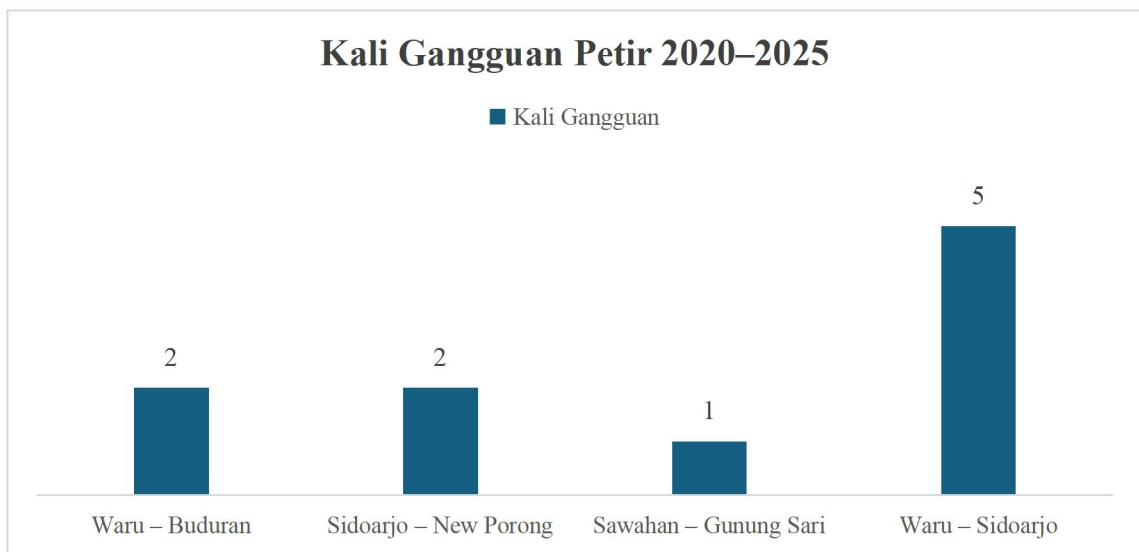
Gambar 4.3 Kerapatan Petir Jawa Timur

Gangguan petir pada jaringan transmisi umumnya menyebabkan terjadinya flashover pada isolator, gangguan fasa ke tanah, hingga trip proteksi pada gardu induk. Oleh karena itu, sistem proteksi petir pada jaringan transmisi harus dirancang secara lebih andal, terutama pada sistem pentanahan menara transmisi.

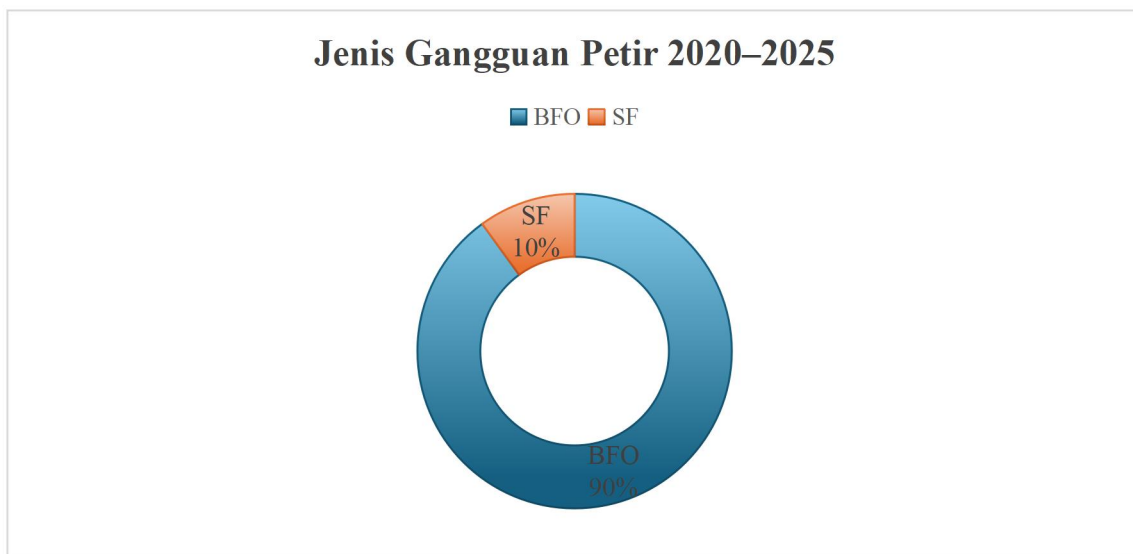
4.3 Analisi Statistik Gangguan Petir Tahun 2020-2025



Gambar 4.4 Statistik Gangguan



Gambar 4.5 Kali Gangguan



Gambar 4.6 Jenis Gangguan

Berdasarkan **Gambar 4.4** yang menyajikan data jumlah gangguan petir pada jaringan transmisi selama periode tahun 2020 hingga 2025, dapat diamati bahwa gangguan akibat sambaran petir masih terjadi secara konsisten pada setiap tahun pengamatan. Penyajian data dalam bentuk tabel memberikan gambaran kuantitatif yang jelas mengenai jumlah gangguan pada masing-masing tahun, sedangkan grafik berfungsi untuk memvisualisasikan kecenderungan perubahan jumlah gangguan dari waktu ke waktu. Kombinasi kedua bentuk penyajian data tersebut mempermudah proses analisis terhadap pola gangguan petir yang terjadi pada jaringan transmisi.

Berdasarkan data pada **Gambar 4.4**, jumlah gangguan akibat petir pada tahun 2020 tercatat sebanyak 2 kejadian. Jumlah tersebut kemudian mengalami penurunan pada tahun 2021 menjadi 1 kejadian dan tetap berada pada angka yang sama pada tahun 2022. Kondisi ini menunjukkan bahwa pada periode tersebut sistem proteksi petir dan sistem pentanahan menara transmisi relatif mampu menekan dampak sambaran petir terhadap keandalan jaringan. Namun demikian, gangguan tidak dapat sepenuhnya dihilangkan, mengingat aktivitas petir merupakan fenomena alam yang sangat dipengaruhi oleh kondisi cuaca dan faktor lingkungan setempat.

Selanjutnya, pada tahun 2023 jumlah gangguan kembali mengalami peningkatan menjadi 2 kejadian. Peningkatan ini mengindikasikan adanya perubahan kondisi eksternal, seperti meningkatnya intensitas petir atau terjadinya cuaca ekstrem yang berpotensi memperbesar kemungkinan sambaran petir pada jaringan transmisi. Tren peningkatan tersebut terlihat lebih jelas pada **Gambar 4.4**, di mana grafik menunjukkan kenaikan jumlah gangguan dibandingkan dua tahun sebelumnya. Hal ini menandakan bahwa meskipun sistem proteksi telah terpasang, efektivitasnya masih dipengaruhi oleh besarnya energi sambaran petir yang terjadi.

Puncak gangguan selama periode pengamatan terjadi pada tahun 2024, dengan jumlah gangguan tercatat sebanyak 3 kejadian. Kondisi ini menjadi perhatian khusus karena merupakan nilai tertinggi dibandingkan tahun-tahun lainnya. Berdasarkan visualisasi pada **Gambar 4.4**, lonjakan gangguan pada tahun 2024 terlihat cukup signifikan, yang menunjukkan adanya korelasi antara tingginya intensitas petir dengan meningkatnya jumlah gangguan pada jaringan transmisi. Selain itu, peningkatan gangguan ini juga mengindikasikan bahwa pada beberapa lokasi menara transmisi, sistem pentanahan belum mampu menyalurkan arus petir secara optimal ke tanah, sehingga sebagian energi petir masih berdampak pada peralatan jaringan.

Pada tahun 2025, jumlah gangguan kembali mengalami penurunan menjadi 1 kejadian. Penurunan ini dapat diartikan sebagai hasil dari upaya perbaikan dan pemeliharaan sistem proteksi petir dan sistem pentanahan menara transmisi yang telah dilakukan sebelumnya. Selain itu, kemungkinan menurunnya intensitas petir pada tahun tersebut juga turut berkontribusi terhadap berkurangnya jumlah gangguan. Meskipun demikian, keberadaan satu gangguan pada tahun 2025 menunjukkan bahwa potensi gangguan akibat petir masih tetap ada dan perlu mendapatkan perhatian berkelanjutan.

Secara keseluruhan, analisis data yang ditunjukkan pada **Gambar 4.4** dan **Gambar 4.5** memperlihatkan bahwa gangguan petir pada jaringan transmisi memiliki pola fluktuatif

yang dipengaruhi oleh faktor alam dan faktor teknis. Oleh karena itu, hasil analisis ini menegaskan pentingnya evaluasi berkala terhadap sistem proteksi petir dan sistem pentanahan menara transmisi. Evaluasi tersebut dapat dilakukan melalui pengukuran tahanan pentanahan secara rutin, peningkatan kualitas material pentanahan, serta penerapan metode proteksi petir yang lebih efektif. Dengan demikian, diharapkan jumlah gangguan akibat petir dapat diminimalkan dan keandalan sistem jaringan transmisi dapat terus ditingkatkan di masa mendatang.

Gambar 4.6 menunjukkan persentase jenis gangguan petir pada jaringan transmisi selama periode tahun 2020 hingga 2025 yang diklasifikasikan menjadi dua kategori utama, yaitu gangguan **Break Failure Out (BFO)** dan **Sustained Fault (SF)**. Berdasarkan diagram lingkaran yang ditampilkan, dapat dilihat bahwa gangguan akibat petir didominasi oleh jenis BFO dengan persentase sebesar **90%**, sedangkan gangguan jenis SF hanya sebesar **10%** dari total gangguan yang terjadi selama periode pengamatan. Perbandingan ini menunjukkan bahwa sebagian besar gangguan petir bersifat sementara dan tidak berkembang menjadi gangguan permanen pada sistem jaringan transmisi.

Dominasi gangguan jenis BFO mengindikasikan bahwa sebagian besar sambaran petir yang terjadi masih dapat ditangani oleh sistem proteksi yang ada, seperti kawat tanah (ground wire), isolator, serta sistem pemutus tenaga yang bekerja secara cepat. Gangguan BFO umumnya terjadi akibat tegangan lebih sesaat yang ditimbulkan oleh sambaran petir, namun dapat segera hilang setelah sistem proteksi bekerja dan kondisi jaringan kembali normal. Hal ini menunjukkan bahwa secara umum, sistem proteksi petir pada jaringan transmisi masih berfungsi dengan baik dalam meminimalkan dampak gangguan petir terhadap kontinuitas penyaluran tenaga listrik.

Sebaliknya, keberadaan gangguan jenis SF sebesar 10% menunjukkan bahwa masih terdapat sebagian kecil gangguan petir yang menyebabkan gangguan berkelanjutan dan memerlukan tindakan penanganan lebih lanjut, seperti pemeriksaan lapangan dan perbaikan

peralatan. Gangguan SF biasanya berkaitan dengan kegagalan isolasi, kerusakan peralatan, atau sistem pentanahan yang tidak mampu menyalurkan arus petir secara optimal ke tanah. Kondisi ini dapat menyebabkan gangguan tidak dapat pulih secara otomatis dan berdampak pada menurunnya keandalan sistem transmisi.

Jika dikaitkan dengan hasil analisis tahunan pada **Gambar 4.4** dan **Gambar 4.6**, dominasi gangguan BFO ini sejalan dengan jumlah gangguan yang relatif rendah pada sebagian besar tahun pengamatan. Namun demikian, munculnya gangguan SF, meskipun dalam persentase kecil, tetap menjadi perhatian penting karena jenis gangguan ini berpotensi menimbulkan dampak yang lebih besar terhadap keandalan sistem dan kontinuitas penyaluran energi listrik. Oleh karena itu, meskipun persentase gangguan SF hanya sebesar 10%, upaya mitigasi tetap perlu dilakukan untuk menekan kemungkinan terjadinya gangguan permanen akibat sambaran petir.

Secara keseluruhan, analisis pada **Gambar 4.6** menunjukkan bahwa sistem proteksi petir pada jaringan transmisi telah mampu mengendalikan sebagian besar gangguan petir agar tidak berkembang menjadi gangguan berkelanjutan. Namun demikian, masih diperlukan peningkatan dan evaluasi secara berkala terhadap sistem pentanahan menara, kondisi isolator, serta koordinasi proteksi untuk mengurangi potensi terjadinya gangguan jenis SF di masa mendatang. Dengan peningkatan kualitas sistem proteksi petir dan pemeliharaan yang optimal, diharapkan keandalan jaringan transmisi dapat terus ditingkatkan dan dampak gangguan petir dapat diminimalkan secara lebih efektif.

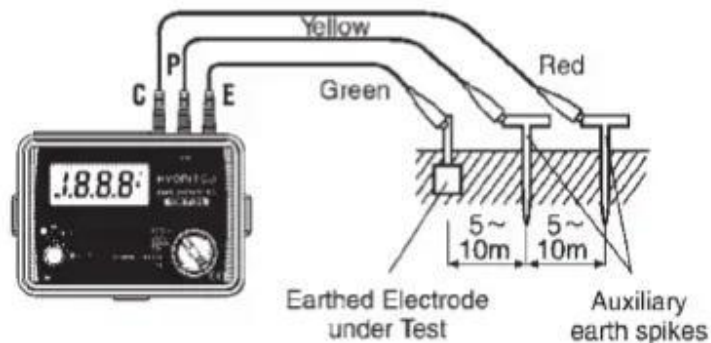
4.4 Analisis Gangguan Berdasarkan Saluran Transmisi

Analisis lebih lanjut menunjukkan bahwa saluran transmisi Waru – Sidoarjo merupakan saluran dengan tingkat gangguan petir tertinggi, yaitu sebanyak 5 kali gangguan. Saluran

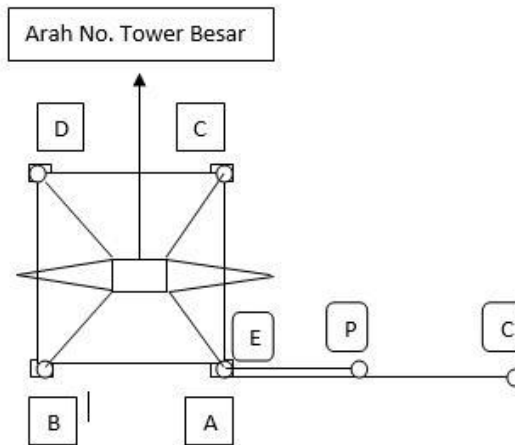
Waru – Buduran dan Sidoarjo – New Porong masing-masing mengalami 2 kali gangguan, sedangkan saluran Sawahan – Gunung Sari mengalami 1 kali gangguan.

Tingginya gangguan pada saluran tertentu menunjukkan adanya korelasi antara kondisi geografis, tingkat kerapatan petir (isokeraunik level), serta kualitas sistem grounding menara transmisi. Menara dengan nilai tahanan pentanahan yang tinggi cenderung lebih mudah mengalami back flashover saat terjadi sambaran petir.

Pengukuran resistansi pentanahan SUTT 150 kV Penghantar Waru - Buduran - Sidoarjo yang merupakan jalur backbone dan juga merupakan daerah rawan petir. Pada penelitian kali ini menggunakan metode pengukuran ardemeeting atau three point pada setiap kaki tower.



Pengukuran dilakukan pada masing – masing elektroda kaki tower (titik A,B, C dan D) pada gambar berikut :



Gambar 4.7 Titik Pengukuran Masing-Masing Elektroda Pentanahan Tower

Keterangan:

- 1) Terminal E untuk kaki tower atau arde yang akan diukur.
- 2) Terminal P untuk elektroda bantu 1 (5 meter).
- 3) Terminal C untuk elektroda bantu 2 (10 meter).

Pengukuran tahanan pentanahan pada penelitian ini dilakukan menggunakan metode three point (metode arde), yang merupakan metode konvensional dan banyak digunakan sebagai acuan standar pengukuran sistem pentanahan. Metode ini dilakukan dengan cara menanam dua buah elektroda bantu, yaitu elektroda arus (C) dan elektroda potensial (P), pada jarak tertentu dari elektroda pentanahan tower yang diuji.

Pengukuran dilakukan pada masing-masing elektroda kaki tower (titik A, B, C, dan D) sebagaimana ditunjukkan pada gambar titik pengukuran. Terminal E pada alat ukur dihubungkan ke kaki tower atau elektroda pentanahan yang akan diukur, terminal P dihubungkan ke elektroda bantu potensial yang ditanam pada jarak $\pm 5-10$ meter, dan terminal C dihubungkan ke elektroda bantu arus yang ditanam lebih jauh dari elektroda P.

Nilai tahanan pentanahan diperoleh dari hasil pembacaan alat ukur earth tester setelah kondisi pengukuran stabil. Pengukuran dilakukan secara berulang untuk memastikan konsistensi dan keakuratan data yang diperoleh.

Selain menggunakan metode three point, pada penelitian ini juga digunakan metode pengukuran tahanan pentanahan menggunakan CT-Ring atau clamp ground tester. Metode ini dipilih sebagai metode pembandingan dan pendukung karena memiliki keunggulan dalam hal kepraktisan serta tidak memerlukan pemutusan konduktor pentanahan.



Gambar 4.8 Titik Pengukuran Menggunakan CT-Ring

Pengukuran dengan CT-Ring dilakukan dengan cara menjepitkan clamp tester pada konduktor pentanahan tower yang terhubung dengan sistem grounding. Prinsip kerja metode ini adalah dengan menginjeksikan arus melalui satu transformator arus dan mengukur respon arus melalui transformator arus lainnya, sehingga nilai tahanan total loop pentanahan dapat dihitung oleh alat.

Metode CT-Ring sangat sesuai digunakan pada tower transmisi yang memiliki lebih dari satu jalur pentanahan (multi grounding), karena arus pengukuran dapat membentuk lintasan tertutup melalui sistem pentanahan yang saling terhubung. Oleh karena itu, metode ini relevan untuk mengevaluasi efektivitas penerapan Multi Direct Grounding (MDG).

4.5 Analisis Jenis Gangguan pada Jaringan Transmisi

Berdasarkan jenis gangguan, gangguan Breakdown Flash Over (BFO) merupakan jenis gangguan yang paling dominan dengan total 9 kejadian. Sementara itu, gangguan Single Flash (SF) tercatat sebanyak 1 kejadian.

Dominasi gangguan BFO pada jaringan transmisi menunjukkan bahwa tegangan lebih akibat arus petir yang mengalir ke tanah melalui menara menyebabkan kenaikan potensial menara (tower footing potential rise). Apabila kenaikan potensial ini melebihi kekuatan isolasi rantai isolator, maka akan terjadi loncatan listrik (flashover) dari konduktor ke menara.

4.5 Dasar Teori Sistem Pentanahan Menara Transmisi

Tahanan pentanahan menara transmisi merupakan parameter utama dalam sistem proteksi petir. Secara umum, tahanan pentanahan elektroda tanah dapat dihitung menggunakan persamaan:

$$R = \rho / (2\pi L) \cdot \ln(4L/d) \dots \dots \dots (2)$$

Keterangan: R = tahanan pentanahan (Ω) ρ = tahanan jenis tanah ($\Omega \cdot m$) L = panjang elektroda pentanahan (m) d = diameter elektroda (m)

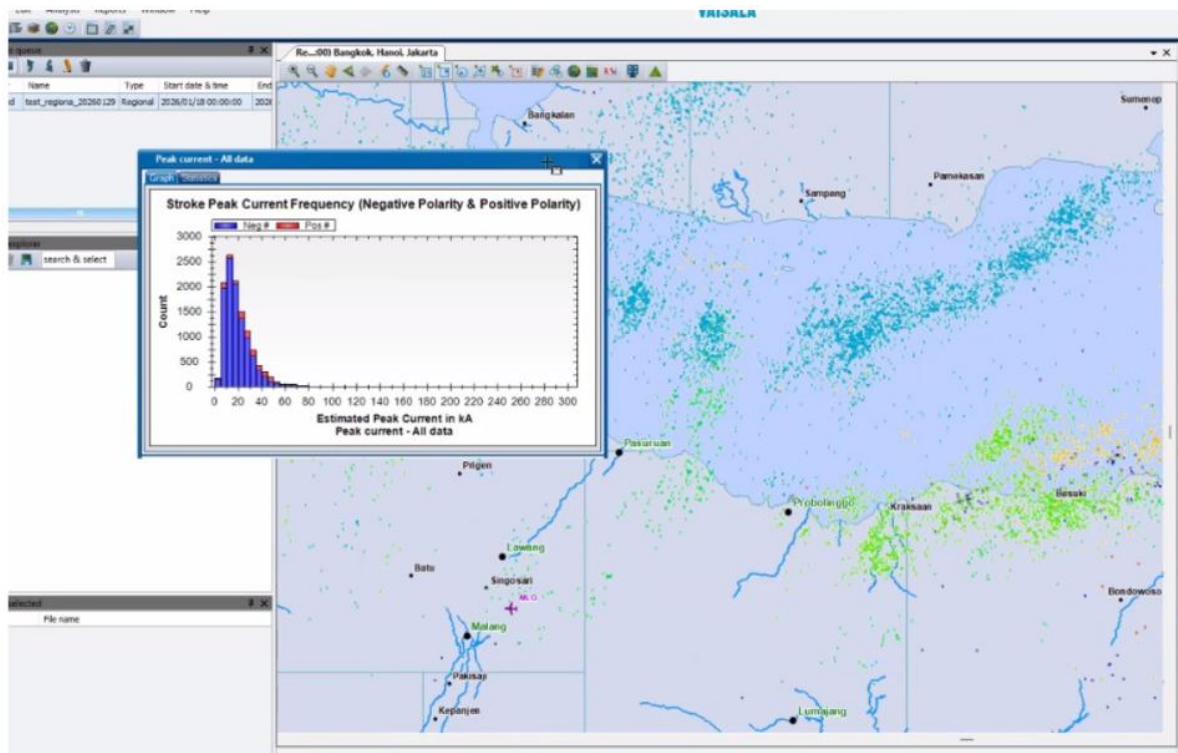
Semakin kecil nilai tahanan pentanahan, maka semakin efektif sistem dalam menyalurkan arus petir ke tanah dan menurunkan potensi terjadinya back flashover.

Kenaikan potensial menara akibat sambaran petir dapat dihitung dengan persamaan:

$$V_t = I_p \times R_t \dots\dots\dots(3)$$

Keterangan: V_t = tegangan kenaikan potensial menara (kV) I_p = arus puncak petir (kA) R_t = tahanan pentanahan menara (Ω)

Apabila nilai V_t melebihi Basic Insulation Level (BIL) dari isolator, maka akan terjadi gangguan flashover.



Gambar 4.8.1 Arus Puncak Sambaran Petir

Petir merupakan salah satu sumber gangguan utama pada sistem tenaga listrik, khususnya pada wilayah dengan intensitas sambaran petir yang tinggi. Sambaran petir, baik langsung maupun tidak langsung, dapat menimbulkan arus dan tegangan transien yang sangat besar dalam waktu singkat, sehingga berpotensi menyebabkan kerusakan peralatan, gangguan operasi sistem, hingga membahayakan keselamatan personel.

Berdasarkan data hasil pengamatan **Vaisala Lightning Detection System**, wilayah yang dianalisis menunjukkan tingkat aktivitas petir yang signifikan, baik dari sisi **jumlah sambaran** maupun **besarnya arus puncak (peak current)**. Oleh karena itu, diperlukan sistem proteksi petir dan pentanahan yang andal, salah satunya melalui penerapan **multi direct grounding**, untuk meminimalkan dampak sambaran petir terhadap sistem kelistrikan.

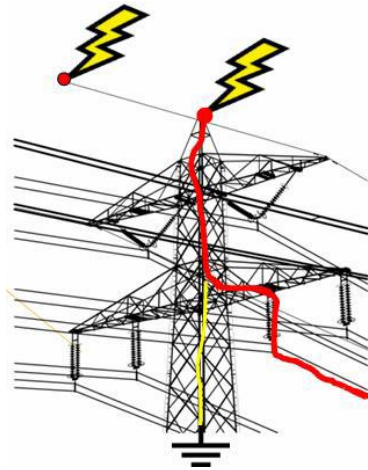
Berdasarkan peta sebaran sambaran petir dari Vaisala, terlihat bahwa:

1. **Kepadatan sambaran petir cukup tinggi**, ditunjukkan oleh sebaran titik sambaran yang rapat dan meluas di area pengamatan.
2. Sambaran terjadi baik di daratan maupun area sekitarnya, yang mengindikasikan potensi induksi petir terhadap jaringan distribusi dan instalasi listrik.
3. Histogram **Stroke Peak Current Frequency** menunjukkan distribusi arus sambaran petir dengan karakteristik sebagai berikut:
 - a. Mayoritas sambaran memiliki **arus puncak (Ip)** pada kisaran **10 kA – 40 kA**
 - b. Terdapat sambaran dengan arus yang lebih besar, bahkan mencapai **>60 kA**
 - c. Sambaran dengan **polaritas negatif** mendominasi, namun sambaran **polaritas positif** tetap muncul dan memiliki potensi energi yang lebih besar

Kondisi ini mengindikasikan bahwa sistem kelistrikan di wilayah tersebut memiliki **paparan risiko petir yang tinggi**, baik dari sisi frekuensi kejadian maupun besarnya energi yang dilepaskan.

4.6 Penerapan Metode Multi Direct Grounding (MDG) pada Jaringan Transmisi

Multi Direct Grounding (MDG) merupakan metode mitigasi gangguan petir pada tower transmisi dengan cara menyediakan lebih dari satu jalur pentanahan langsung (direct grounding) dari struktur tower menuju tanah. Berbeda dengan konsep discharge gap, MDG menitik beratkan pada penurunan impedansi total jalur arus petir ke tanah sehingga kenaikan tegangan tower akibat sambaran petir dapat ditekan secara signifikan.



Gambar 4.8.2 Backflashover

Pada saat petir menyambar tower, arus petir dengan amplitudo besar dan kecuraman tinggi akan mengalir melalui struktur tower menuju sistem pentanahan. Besarnya tegangan yang timbul pada tower dirumuskan sebagai:

$$V_{TT} = (di/dt) \cdot L_T + I_t \cdot R_E \dots \dots \dots (3)$$

Rumus di atas merupakan **bentuk lebih diteal** dari persamaan tegangan tower. Secara konseptual, persamaan $V_t = I_p \times R_t$ hanya memperhitungkan **komponen resistif** dari kenaikan tegangan tower, yaitu akibat aliran arus petir melalui tahanan pentanahan tower.

dengan penjelasan masing-masing parameter sebagai berikut:

1. V_{TT}

Merupakan **tegangan tower**, yaitu kenaikan potensial listrik yang terjadi pada struktur tower transmisi saat dialiri arus petir. Besarnya tegangan ini menjadi faktor utama yang menentukan terjadinya backflashover pada rangkaian isolator.

2. di/dt

Merupakan **kecuraman arus petir**, yaitu laju perubahan arus petir terhadap waktu. Nilai

ini menggambarkan seberapa cepat arus petir naik dari nol hingga mencapai puncaknya. Semakin besar nilai kecuraman petir, maka semakin besar tegangan induktif yang timbul pada tower.

3. LT

Merupakan **induktansi tower**, yaitu sifat induktif dari struktur tower transmisi yang dipengaruhi oleh tinggi tower, konfigurasi rangka baja, serta jalur aliran arus petir. Induktansi ini menyebabkan timbulnya komponen tegangan induktif ketika arus petir berubah secara cepat.

4. It

Merupakan **arus petir** yang mengalir melalui tower menuju sistem pentanahan. Besarnya arus petir dipengaruhi oleh karakteristik sambaran petir dan kondisi lingkungan sekitar tower.

5. RE

Merupakan **nilai tahanan pentanahan tower**, yaitu resistansi antara struktur tower dan tanah. Nilai ini sangat dipengaruhi oleh jenis tanah, kelembapan, serta desain sistem pentanahan. Semakin besar nilai RE, maka semakin besar pula kenaikan tegangan pada tower.

Dari persamaan tersebut dapat diketahui bahwa salah satu parameter yang dapat direduksi secara langsung adalah **RE (tahanan pentanahan tower)**. Penerapan MDG bertujuan untuk memperkecil nilai RE dengan cara menambah titik pentanahan, memperpendek jalur arus ke tanah, serta memperbesar luas kontak elektroda dengan tanah.

Secara matematis, tahanan pentanahan total sistem MDG dapat didekati dengan persamaan paralel:

$$1 / R_{\text{total}} = 1 / R_1 + 1 / R_2 + \dots + 1 / R_n \dots \dots \dots (4)$$

Keterangan: R_{total} = tahanan pentanahan total sistem MDG (Ω) $R_1, R_2, \dots, R_n$ = tahanan pentanahan masing-masing menara (Ω)

Dengan semakin banyak titik grounding yang terhubung secara langsung, maka nilai R_{total} akan semakin kecil.

4.7 Dampak Penerapan MDG terhadap Penurunan Gangguan Petir

Penerapan metode MDG pada jaringan transmisi berdampak langsung pada penurunan nilai tahanan pentanahan menara. Penurunan R_t akan mengakibatkan berkurangnya nilai V_t sesuai dengan persamaan $V_t = I_p \times R_t$, sehingga kemungkinan terjadinya back flashover dapat diminimalkan.

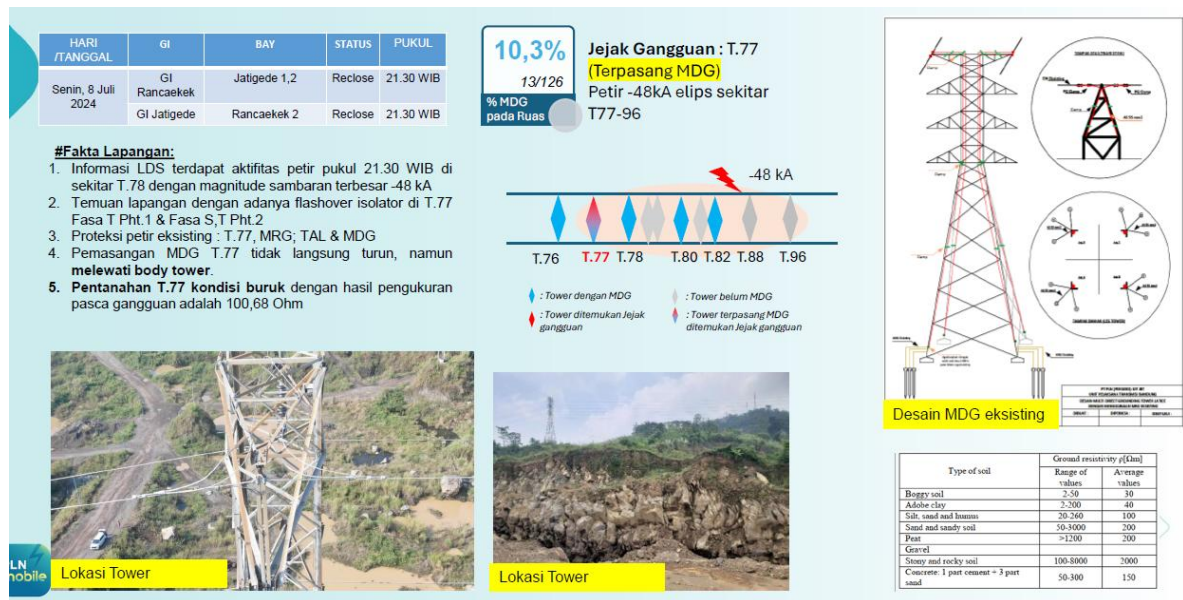
Secara teknis, MDG sangat efektif dalam menekan gangguan BFO yang dominan terjadi pada jaringan transmisi. Dengan sistem pentanahan yang lebih baik, keandalan saluran transmisi meningkat, frekuensi trip akibat petir menurun, dan kontinuitas penyaluran daya antar gardu induk menjadi lebih terjaga.

4.8 Analisa Statistik Gangguan Petir dan Rencana Penerapan Multi Direct Grounding (MDG) di UPT Surabaya.

Gangguan akibat sambaran petir masih menjadi salah satu permasalahan utama pada sistem transmisi tenaga listrik, khususnya pada jaringan transmisi udara tegangan tinggi. Berdasarkan hasil analisa statistik gangguan petir pada periode tahun 2020–2025, diketahui bahwa frekuensi gangguan petir pada jaringan transmisi masih relatif tinggi dan menunjukkan kecenderungan berulang pada titik-titik tertentu. Jenis gangguan yang paling dominan adalah gangguan Breakdown Flash Over (BFO), yang terjadi akibat kegagalan isolasi pada isolator saluran transmisi sebagai dampak dari tegangan lebih yang ditimbulkan oleh sambaran petir berarus besar.

Gangguan BFO umumnya disebabkan oleh fenomena back flashover, yaitu loncatan balik dari kaki tower menuju konduktor fasa ketika arus petir yang mengalir ke tanah

menyebabkan kenaikan potensial tanah (Ground Potential Rise/GPR) yang tinggi. Apabila nilai GPR tersebut melebihi kemampuan tahanan isolasi isolator, maka akan terjadi loncatan listrik yang memicu gangguan pada sistem transmisi. Kondisi ini menunjukkan bahwa efektivitas sistem pentanahan tower memiliki peran yang sangat penting dalam menentukan tingkat keandalan jaringan transmisi terhadap gangguan petir.



Gambar 4.9 Historis Pemasangan MDG di UIT JBT

Hasil analisa data historis gangguan petir di lingkungan UIT JBT menunjukkan bahwa tower dengan nilai tahanan pentanahan yang tinggi cenderung menjadi titik dominan terjadinya gangguan petir. Sambaran petir dengan arus tinggi, yang berdasarkan data Lightning Detection System (LDS) dapat mencapai puluhan kiloampere, akan menimbulkan tegangan lebih yang signifikan pada kaki tower apabila sistem pentanahan tidak mampu mengalirkan arus tersebut secara cepat dan merata ke tanah. Hal ini memperbesar kemungkinan terjadinya back flashover pada isolator saluran transmisi, khususnya pada kondisi tanah dengan resistivitas tinggi.

Kondisi tersebut relevan dengan jaringan transmisi di wilayah kerja UPT Surabaya. Berdasarkan evaluasi sistem proteksi petir yang ada, hingga saat ini UPT Surabaya belum menerapkan sistem Multi Direct Grounding (MDG) pada tower transmisi. Sistem proteksi petir yang digunakan masih mengandalkan proteksi konvensional, yaitu ground wire sebagai penangkap sambaran petir langsung, arcing horn sebagai pengarah loncatan tegangan lebih, serta sistem pentanahan tower eksisting. Meskipun sistem tersebut secara prinsip telah memenuhi fungsi dasar proteksi petir, namun dalam kondisi sambaran petir berarus besar dan karakteristik tanah dengan resistivitas tinggi, sistem pentanahan konvensional sering kali belum mampu memberikan perlindungan yang optimal.

Tanpa adanya sistem pentanahan tambahan, arus petir yang mengalir ke kaki tower akan terpusat pada jalur pentanahan yang terbatas. Kondisi ini menyebabkan nilai tahanan pentanahan tower menjadi relatif tinggi, sehingga mengakibatkan kenaikan potensial tanah yang besar. Kenaikan potensial tanah ini secara langsung meningkatkan tegangan yang bekerja pada isolator, sehingga risiko terjadinya gangguan BFO menjadi semakin besar. Hal ini sejalan dengan hasil analisa statistik gangguan petir yang menunjukkan bahwa gangguan BFO masih menjadi gangguan dominan pada jaringan transmisi.

Multi Direct Grounding (MDG) merupakan salah satu metode peningkatan sistem pentanahan tower yang dirancang untuk menurunkan impedansi pentanahan secara signifikan, khususnya pada saat terjadi sambaran petir. Sistem MDG bekerja dengan menyediakan beberapa jalur pentanahan tambahan yang terhubung langsung ke tanah melalui elektroda pentanahan, sehingga arus petir dapat didistribusikan dan didisipasikan secara lebih merata. Dengan bertambahnya jumlah jalur pentanahan, nilai tahanan pentanahan tower dapat ditekan, sehingga Ground Potential Rise yang terjadi pada kaki tower dapat diminimalkan.

Penerapan MDG bertujuan untuk mengurangi tegangan lebih yang muncul pada isolator saluran transmisi akibat sambaran petir. Dengan menurunnya nilai tahanan pentanahan dan

Ground Potential Rise, maka probabilitas terjadinya back flashover dapat ditekan secara signifikan. Selain itu, penerapan MDG juga diharapkan dapat meningkatkan keberhasilan reclose dan mengurangi gangguan berulang, sehingga keandalan sistem transmisi secara keseluruhan dapat ditingkatkan.

Evaluasi penerapan MDG pada unit lain di lingkungan UIT JBT yang telah mengimplementasikan sistem ini menunjukkan hasil yang positif. Tower yang telah dipasang MDG secara optimal umumnya mengalami penurunan nilai tahanan pentanahan serta penurunan frekuensi gangguan petir, khususnya gangguan jenis BFO. Hal ini menunjukkan bahwa MDG merupakan solusi teknis yang efektif apabila diterapkan dengan metode instalasi yang tepat, koneksi langsung ke tanah, serta disesuaikan dengan kondisi resistivitas tanah di lokasi tower.

Top 10 Ruas Prosentase Terpasang MDG Terbanyak UITJBT

Update per 31 Desember 2024

Ruas	Jml Tower	Proteksi Petir Terpasang			Riwayat MDG		Periode Pasang	Riwayat Gangguan Petir (Smt 1 + Smt 2)				Density Petir / km ² (Smt1/Smt2)		Keterangan
		MRG/ Counter Poise	iGSW/ PSPT	TLA	MDG	%MDG		2021	2022	2023	2024	2023	2024	
TRS 150 KV GOMBONG-KESUGIHAN	114	114	10	0	114	100.00%	Feb – Mar dan Okt – Nov 2024	2+3	0+0	0+0	2+3	0.75 / 0.25	1.10 / 1.18	
TRS 150 KV KALIBAKAL-BUMIAYU	87	87	5	0	87	100.00%	Feb – Juli 2024	2+0	2+1	3+0	3+2	2.33 / 0.59	2.77 / 2.17	Peak Gangguan Jan-April
TRS 70KV SUNYARAGI-ARJAWINANGUN	85	85	0	0	83	97.65%	Juni dan Ags 2024	3+0	3+3	1+1	2+1	1.24 / 0.58	0.92 / 0.43	Peak Gangguan Jan-April & Okt-Des
TRS 150KV CIBATU-CILEUNGSI	54	23	7	0	38	70.37%	Smt 1 2024	1+1	0+1	0+0	1+0	1.70 / 1.87	2.94 / 0.89	Tower combine dengan Juishin
TRS 70KV KEDUNG BADAQ- KRACAK	55	50	8	0	36	65.45%	Juni dan Sep 2024	1+1	1+2	0+4	0+3	4.18 / 8.35	3.50 / 2.43	Peak Gangguan Okt-Nov
TRS 150KV CIBATU-JUISHIN	29	0	0	0	18	62.07%	Smt 1 2024	0+2	0+0	0+1	0+0	1.70 / 1.87	2.94 / 0.89	Tower combine dengan Cileungsi
TRS 150KV PUDAKPAYUNG-UNGARAN	35	35	6	0	20	57.14%	Mar dan Ags 2024	2+0	0	0	2+0	1.78 / 0.41	1.38 / 0.65	
TRS 150 KV KEBUMEN-GOMBONG	64	64	6	0	32	50.00%	Mei 2024	1+1	2+0	0	2+2	0.47 / 0.13	0.71 / 0.96	
TRS 70KV KADIPATEN-ARJAWINANGUN	105	105	49	0	49	46.67%	Feb dan Juli 2024	4+4	1+1	1+0	3+0	1.95/ 1.64	1.78 / 0.79	
TRS 70KV SUMADRA-PAMENGPEUK	81	81	0	0	36	44.44%	Mei-Juli 2024	-	3+2	2+2	3+2	1.01 / 0.25	0.72 / 0.74	

Gambar 4.9.1 Presentase Pemasangan MDG di UIT JBT

Hasil analisa data historis gangguan petir di lingkungan **UIT JBT**, khususnya pada **Top 10 ruas dengan persentase pemasangan MDG terbanyak**, menunjukkan bahwa tower

dengan nilai tahanan pentanahan yang tinggi cenderung menjadi titik dominan terjadinya gangguan petir. Sambaran petir dengan arus tinggi, yang berdasarkan data **Lightning Detection System (LDS)** dapat mencapai puluhan kiloampere, menimbulkan tegangan lebih yang signifikan pada kaki tower apabila sistem pentanahan tidak mampu mengalirkan arus tersebut secara cepat dan merata ke tanah. Kondisi ini meningkatkan probabilitas terjadinya **back flashover (BFO)** pada isolator saluran transmisi, terutama pada lokasi dengan resistivitas tanah yang tinggi.

Temuan tersebut selaras dengan hasil evaluasi pada ruas transmisi yang termasuk dalam **Top 10 ruas dengan MDG terpasang terbanyak**, di mana ruas dengan tingkat pemasangan MDG yang tinggi ($\geq 70\%$) cenderung menunjukkan pola gangguan petir yang lebih terkendali, meskipun berada pada wilayah dengan densitas petir yang relatif tinggi. Sebaliknya, ruas dengan persentase MDG yang masih rendah memperlihatkan fluktuasi gangguan petir yang lebih besar, khususnya pada periode puncak musim hujan. Hal ini menunjukkan bahwa efektivitas MDG sangat dipengaruhi oleh cakupan dan pemerataan pemasangannya pada menara transmisi.

Berdasarkan **SPLN T5.007:2014 tentang Sistem Pentanahan Menara Transmisi**, nilai tahanan pentanahan menara yang tinggi akan menyebabkan kenaikan potensial tanah (**Ground Potential Rise**) yang besar saat terjadi sambaran petir. Kenaikan potensial ini berpotensi menimbulkan tegangan lebih pada rangkaian isolasi saluran dan memicu terjadinya BFO. Kondisi ini tercermin pada data historis gangguan petir, di mana gangguan BFO masih menjadi jenis gangguan dominan pada ruas transmisi dengan sistem pentanahan konvensional.

Hal yang sama ditegaskan dalam **IEC 62305 (Protection against Lightning)**, yang menyatakan bahwa sistem pentanahan harus dirancang untuk mendisipasikan arus petir ke tanah tanpa menimbulkan tegangan lebih berbahaya pada struktur dan peralatan yang terhubung. Pada ruas transmisi dengan karakteristik tanah resistivitas tinggi, sistem

pentanahan konvensional yang hanya mengandalkan satu jalur pelepasan arus sering kali tidak mampu memenuhi kriteria tersebut, sehingga risiko terjadinya BFO meningkat.

Penerapan **Multi Direct Grounding (MDG)** pada beberapa ruas transmisi di lingkungan UIT JBT merupakan upaya teknis untuk menurunkan impedansi pentanahan tower secara signifikan, khususnya pada kondisi arus impuls petir. Sistem MDG bekerja dengan menyediakan beberapa jalur pentanahan tambahan yang terhubung langsung ke tanah melalui elektroda pentanahan, sehingga arus petir dapat terdistribusi dan didisipasikan secara lebih merata. Dengan bertambahnya jalur pelepasan arus, nilai tahanan pentanahan efektif tower dapat ditekan dan kenaikan potensial tanah dapat diminimalkan.

Evaluasi terhadap **Top 10 ruas dengan MDG terpasang terbanyak** menunjukkan bahwa ruas-ruas dengan persentase pemasangan MDG yang tinggi mengalami penurunan frekuensi gangguan petir, khususnya gangguan BFO, meskipun densitas petir tahunan relatif tinggi. Hal ini mengindikasikan bahwa penerapan MDG telah bekerja sesuai prinsip **insulation coordination** sebagaimana diatur dalam **IEC 60071**, yaitu menjaga agar tegangan yang muncul pada isolator tetap berada di bawah batas kemampuan tembusnya.

Kondisi tersebut relevan dengan jaringan transmisi di wilayah kerja **UPT Surabaya**, di mana hingga saat ini sistem MDG belum diterapkan dan proteksi petir masih mengandalkan sistem konvensional berupa ground wire, arcing horn, dan pentanahan tower eksisting. Berdasarkan kesamaan karakteristik gangguan petir dan kondisi tanah, penerapan MDG di UPT Surabaya dinilai layak dan strategis sebagai langkah mitigasi gangguan petir.

Berdasarkan analisa historis gangguan petir, evaluasi penerapan MDG pada ruas transmisi di UIT JBT, serta tinjauan terhadap standar SPLN dan IEC, maka penerapan MDG di UPT Surabaya direncanakan untuk difokuskan pada tower dengan histori gangguan petir tinggi, nilai tahanan pentanahan besar, serta lokasi dengan resistivitas tanah tinggi. Dengan pendekatan ini, penerapan MDG diharapkan dapat menurunkan frekuensi gangguan petir,

meningkatkan keberhasilan reclose, serta meningkatkan keandalan dan kontinuitas penyaluran tenaga listrik pada jaringan transmisi UPT Surabaya.

Tabel 4.1 Hasil Perbandingan Rtotal Exsisting dengan MDG SUTET New Tambun – Muaratawar

No. Tower	R Total <u>Exsisting</u> (Ω)	R Total MDG (Ω)	ΔR (Ω)
55	2,29	0,23	-2,06
57	2,58	3,24	0,66
58	2,59	2,02	-0,57
59	2,15	0,36	-1,79
60	2,08	0,89	-1,19
62	4,55	0,89	-3,66
63	2,58	1,00	-1,58
64	0,92	1,22	0,30
66	0,50	3,20	2,70

Analisa pada tabel 4.1 kenaikan potensial menara (VT) akibat arus petir dipengaruhi langsung oleh nilai tahanan pentanahan total (Rtotal), sebagaimana dinyatakan pada persamaan:

$$VT = I_p \times R_t \dots \dots \dots (5)$$

Pada analisa ini digunakan asumsi arus petir:

$$I_p = 41 \dots \dots \dots (6)$$

Sehingga nilai VT dapat diperoleh langsung dari hasil pengukuran Rtotal pada Tabel.

Contoh perhitungan berdasarkan tabel

1. Tower 55

a. Kondisi Existing

$$R_{t_existing} = 2,29 \, \Omega$$

$$\begin{aligned} V_{Texisting} &= 41 \times 2,29 \\ &= 93,89 \, \text{kV} \end{aligned}$$

b. Kondisi Setelah MDG

$$R_{t_MDG} = 0,23 \, \Omega$$

$$\begin{aligned} V_{TMDG} &= 41 \times 0,23 \\ &= 9,43 \, \text{kV} \end{aligned}$$

Penurunan VT:

$$\Delta VT = 9,43 - 93,89 = -84,46 \, \text{kV}$$

Penurunan R_{total} sebesar $2,06 \, \Omega$ menghasilkan penurunan VT sebesar $84,46 \, \text{kV}$.

2. Tower 62 (Penurunan Paling Signifikan)

a. Kondisi Existing

$$R_{t_existing} = 4,55 \, \Omega$$

$$\begin{aligned} V_{Texisting} &= 41 \times 4,55 \\ &= 186,55 \, \text{kV} \end{aligned}$$

b. Kondisi Setelah MDG

$$R_{t_MDG} = 0,89 \, \Omega$$

$$\begin{aligned} V_{TMDG} &= 41 \times 0,89 \\ &= 36,49 \, \text{kV} \end{aligned}$$

Penurunan VT:

$$\Delta VT = 36,49 - 186,55 = -150,06 \text{ kV}$$

Penurunan R_{total} sebesar $3,66 \Omega$ menurunkan VT hingga 150,06 kV.

3. Tower dengan ΔR Positif (Tower 57 – Contoh)

a. Kondisi Existing

$$R_{t_existing} = 2,58 \Omega$$

$$\begin{aligned} V_{Texisting} &= 41 \times 2,58 \\ &= 105,78 \text{ kV} \end{aligned}$$

b. Kondisi Setelah MDG

$$R_{t_MDG} = 3,24 \Omega$$

$$\begin{aligned} V_{TMDG} &= 41 \times 3,24 \\ &= 132,84 \text{ kV} \end{aligned}$$

Berdasarkan hasil analisis data pada Tower 57, terlihat bahwa penerapan metode Multi Direct Grounding (MDG) menuntut ketepatan dalam desain dan instalasi agar memberikan hasil yang optimal sesuai standar teknis,. Pada tower ini, kenaikan R_{total} sebesar $0,66 \Omega$ menyebabkan peningkatan VT sebesar 27,06 kV, yang menunjukkan bahwa efektivitas MDG sangat dipengaruhi oleh kondisi tanah dan konfigurasi elektroda. Fenomena tersebut membuktikan secara matematis hukum Ohm melalui persamaan $V_t = I_p \times R_t$, di mana kenaikan nilai tahanan pentanahan (R_t) akan berbanding lurus dengan lonjakan tegangan menara (V_t) saat dialiri arus petir (I_p). Oleh karena itu, tower dengan nilai ΔR positif memerlukan evaluasi teknis lebih lanjut terhadap kualitas sambungan serta karakteristik resistivitas tanah di lokasi tersebut untuk memastikan sistem pentanahan mampu meredam tegangan lebih dan memitigasi risiko back flashover secara efektif.

Kesimpulan Analisa Berdasarkan Hitungan

Berdasarkan hasil perhitungan VT yang dikaitkan langsung dengan Tabel, dapat disimpulkan bahwa:

1. Penurunan nilai R_{total} berbanding lurus dengan penurunan nilai VT.
2. Tower dengan penurunan R_{total} paling besar menunjukkan penurunan VT paling signifikan.
3. Tower dengan nilai ΔR positif mengalami peningkatan VT, sehingga perlu evaluasi lanjutan pada desain dan pemasangan MDG.
4. Secara umum, penerapan MDG berpotensi menurunkan risiko terjadinya back flashover dengan menekan nilai VT agar tetap berada di bawah kemampuan isolasi sistem.

“Hasil perhitungan menunjukkan bahwa perubahan nilai tahanan pentanahan total akibat penerapan MDG secara langsung mempengaruhi besarnya kenaikan potensial menara sesuai dengan persamaan $VT = I_p \times R_t$.” Nilai arus petir sebesar 41 kA yang digunakan pada simulasi VT merupakan nilai asumsi konservatif. Berdasarkan data distribusi arus sambaran petir dari sistem Vaisala, sebagian besar kejadian sambaran berada pada kisaran arus yang lebih rendah. Oleh karena itu, analisa ini bertujuan untuk melihat pengaruh kondisi terburuk terhadap sistem pentanahan tower.”

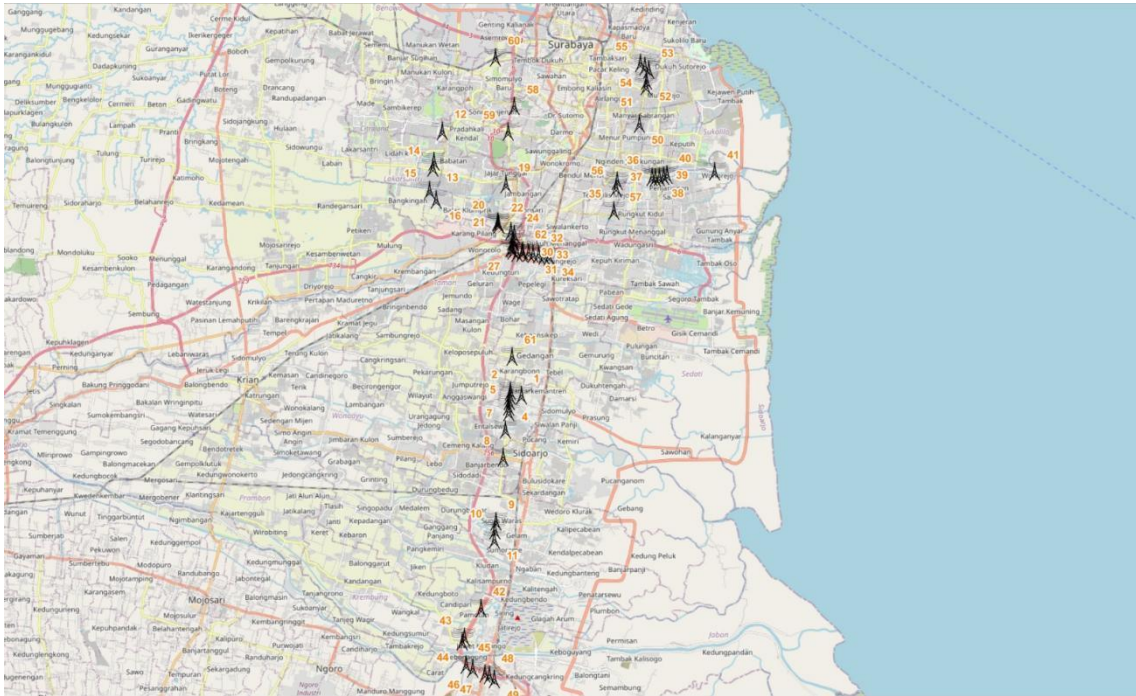
4.9 Pembahasan Hasil Asesmen Sistem Pentanahan Menara Transmisi

Berdasarkan hasil asesmen sistem pentanahan menara transmisi, diketahui bahwa masih terdapat sejumlah menara dengan nilai tahanan pentanahan yang belum memenuhi standar yang dipersyaratkan. Kondisi ini berpotensi menimbulkan kenaikan potensial menara yang tinggi saat terjadi sambaran petir, sehingga meningkatkan risiko terjadinya back flashover pada rantai isolator.

Hasil asesmen juga menunjukkan variasi nilai tahanan pentanahan yang dipengaruhi oleh kondisi tanah, umur instalasi grounding, serta kualitas sambungan konduktor pentanahan. Menara-menara dengan nilai tahanan tinggi kemudian diprioritaskan sebagai objek perbaikan melalui penerapan metode Multi Direct Grounding (MDG).

Tabel 4.2 Hasil Assemen Pentanahan

NO	ULTG	TOWER	STATUS	JHRIS TOWER	ABDI KAMITOWER					ALAT ukur	TERBESAR	KUALIFIKASI	KEPAPATAN PETIR		STATUS	JHRIS	ABDI	SCORING			COUNT	DENSITY	TOTAL
					A	B	C	D	GL				COUNT	SEVERITY				PROTEKSI PETIR					
3	ULTG Sarabaga Selatan	TOWER SITT 150KV BIRIH-SIBO-ARJO-08084	OPERASI	LATICE	21	97	6	5	FLURE (CT-BRNG)	21	5,97	77	142	45,0866	1	1	1	1	1	1	1	1	189
5	ULTG Sarabaga Selatan	TOWER SITT 150KV BIRIH-SIBO-ARJO-08086	OPERASI	LATICE	26	22	6	37	FLURE (CT-BRNG)	48	7,13	89	28,0191	1	1	1	1	1	1	1	1	1	287
6	ULTG Sarabaga Selatan	TOWER SITT 150KV BIRIH-SIBO-ARJO-08087	OPERASI	LATICE	42	7	1	2	FLURE (CT-BRNG)	7	0,63	98	28,7788	1	1	1	1	1	1	1	1	1	135
7	ULTG Sarabaga Selatan	TOWER SITT 150KV BIRIH-SIBO-ARJO-08088	OPERASI	LATICE	6,8	98	8	8	FLURE (CT-BRNG)	19	2,81	92	29,0184	1	1	1	1	1	1	1	1	1	287
8	ULTG Sarabaga Selatan	TOWER SITT 150KV BIRIH-SIBO-ARJO-08089	OPERASI	LATICE	132	135	6	7,8	FLURE (CT-BRNG)	15,5	2,35	83	28,4862	1	1	1	1	1	1	1	1	1	189
9	ULTG Sarabaga Selatan	TOWER SITT 150KV BIRIH-SIBO-ARJO-08090	OPERASI	LATICE	8	7	8,9	5,2	8,9 FLURE (CT-BRNG)	0,2	1,66	92	29,0184	1	1	1	1	1	1	1	1	1	135
11	ULTG Sarabaga Selatan	TOWER SITT 150KV BIRIH-SIBO-ARJO-08092	OPERASI	LATICE	3,2	4	5	14	3 FLURE (CT-BRNG)	14	0,77	77	24,6219	1	1	1	1	1	1	1	1	1	189
14	ULTG Sarabaga Selatan	TOWER SITT 150KV BIRIH-SIBO-ARJO-08095	OPERASI	LATICE	0,5	8,4	0,5	0,8	7,8 FLURE (CT-BRNG)	7,8	0,14	89	28,1393	1	1	1	1	1	1	1	1	1	135
18	ULTG Sarabaga Selatan	TOWER SITT 150KV BIRIH-SIBO-ARJO-08097	OPERASI	LATICE	1,3	0,7	1	5,2	-KVORITSSU	1,3	0,25	88	28,1393	1	1	1	1	1	1	1	1	1	135
20	ULTG Sarabaga Selatan	TOWER SITT 150KV BIRIH-SIBO-ARJO-08099	OPERASI	LATICE	0,8	1,3	5,2	5,1	-KVORITSSU	1,3	0,27	101	32,2963	1	1	1	1	1	1	1	1	1	153
20	ULTG Sarabaga Selatan	TOWER SITT 150KV BIRIH-SIBO-ARJO-08099	OPERASI	LATICE	0,8	1,3	5,2	5,1	-KVORITSSU	1,3	0,27	89	28,0191	1	1	1	1	1	1	1	1	1	135
24	ULTG Sarabaga Selatan	TOWER SITT 150KV DAMAO-WARU-08091	OPERASI	LATICE	5,1	7,1	58,4	74	FLURE (CT-BRNG)	74	2,72	104	33,2556	1	1	1	1	1	1	1	1	1	225
29	ULTG Sarabaga Selatan	TOWER SITT 150KV DAMAO-WARU-08096	OPERASI	LATICE	6,7	4,5	4,9	6,7	TIDAK DILUKU FLURE (CT-BRNG)	0,7	1,38	109	24,6544	1	1	1	1	1	1	1	1	1	153
30	ULTG Sarabaga Selatan	TOWER SITT 150KV DAMAO-WARU-08097	OPERASI	LATICE	98	79,8	98	102	FLURE (CT-BRNG)	102	10,28	109	24,6544	1	1	1	1	1	1	1	1	1	225
34	ULTG Sarabaga Selatan	TOWER SITT 150KV DAMAO-WARU-08091	OPERASI	LATICE	16,1	8,8	11,4	17,8	FLURE (CT-BRNG)	17,8	3,14	127	40,0182	1	1	1	1	1	1	1	1	1	243
36	ULTG Sarabaga Selatan	TOWER SITT 150KV DAMAO-WARU-08093	OPERASI	LATICE	27,8	27,8	39	27,8	18,7 FLURE (CT-BRNG)	20	5,27	123	39,3311	1	1	1	1	1	1	1	1	1	243
41	ULTG Sarabaga Selatan	TOWER SITT 150KV DAMAO-WARU-08098	OPERASI	LATICE	1,6	40,9	17,2	7	TIDAK DILUKU FLURE (CT-BRNG)	0,9	1,18	117	37,4755	1	1	1	1	1	1	1	1	1	243
42	ULTG Sarabaga Selatan	TOWER SITT 150KV DAMAO-WARU-08099	OPERASI	LATICE	15,7	15,8	9,6	12,1	TIDAK DILUKU FLURE (CT-BRNG)	15,7	2,98	96	38,8374	1	1	1	1	1	1	1	1	1	287
48	ULTG Sarabaga Selatan	TOWER SITT 150KV GISASU-WARU-08096	OPERASI	LATICE	0,9	1	0,7	0,7	-KVORITSSU	1	0,28	86	27,4898	1	1	1	1	1	1	1	1	1	135
48	ULTG Sarabaga Selatan	TOWER SITT 150KV GISASU-WARU-08096	OPERASI	LATICE	14,8	13,3	6,2	10,3	FLURE (CT-BRNG)	14,8	2,49	98	45,408	1	1	1	1	1	1	1	1	1	189
77	ULTG Sarabaga Selatan	TOWER SITT 150KV GISASU-WARU-08095	OPERASI	LATICE	5,8	12	11,3	6,1	FLURE (CT-BRNG)	12	1,94	142	45,0866	1	1	1	1	1	1	1	1	1	261
78	ULTG Sarabaga Selatan	TOWER SITT 150KV GISASU-WARU-08096	OPERASI	LATICE	6,1	99	7,3	8,4	FLURE (CT-BRNG)	19	2,29	142	45,0866	1	1	1	1	1	1	1	1	1	261
131	ULTG Sarabaga Selatan	TOWER SITT 150KV KRILO-08093	OPERASI	LATICE	0,9	1	0,9	0,8	-KVORITSSU	1	0,22	123	39,3311	1	1	1	1	1	1	1	1	1	171
132	ULTG Sarabaga Selatan	TOWER SITT 150KV KRILO-08097	OPERASI	LATICE	0,7	0,8	0,8	0,5	-KVORITSSU	0,8	0,17	125	39,3706	1	1	1	1	1	1	1	1	1	171
132	ULTG Sarabaga Selatan	TOWER SITT 150KV KRILO-08097	OPERASI	LATICE	0,8	0,8	0,5	0,5	-KVORITSSU	0,8	0,15	119	36,657	1	1	1	1	1	1	1	1	1	171
133	ULTG Sarabaga Selatan	TOWER SITT 150KV KRILO-08099	OPERASI	LATICE	0,9	0,8	0,9	0,9	-KVORITSSU	0,9	0,22	89	28,0191	1	1	1	1	1	1	1	1	1	135
136	ULTG Sarabaga Selatan	TOWER SITT 150KV KRILO-08093	OPERASI	LATICE	1,3	0,9	1,2	1	-KVORITSSU	1,3	0,27	95	38,3777	1	1	1	1	1	1	1	1	1	135
137	ULTG Sarabaga Selatan	TOWER SITT 150KV KRILO-08097	OPERASI	LATICE	0,9	1	1	0,9	-KVORITSSU	1	0,23	92	29,0184	1	1	1	1	1	1	1	1	1	135
138	ULTG Sarabaga Selatan	TOWER SITT 150KV KRILO-08093	OPERASI	LATICE	0,9	0,8	0,7	0,9	-KVORITSSU	0,9	0,28	97	31,0172	1	1	1	1	1	1	1	1	1	135
139	ULTG Sarabaga Selatan	TOWER SITT 150KV KRILO-08094	OPERASI	LATICE	1	1,2	1,5	1,2	1,5 KVORITSSU	1,5	0,25	92	29,0184	1	1	1	1	1	1	1	1	1	135
140	ULTG Sarabaga Selatan	TOWER SITT 150KV KRILO-08093	OPERASI	LATICE	1,3	0,8	0,9	0,9	0,9 KVORITSSU	1,3	0,19	89	28,1393	1	1	1	1	1	1	1	1	1	135
141	ULTG Sarabaga Selatan	TOWER SITT 150KV KRILO-08099	OPERASI	LATICE	0,9	0,8	0,9	0,7	-KVORITSSU	0,9	0,28	87	27,0186	1	1	1	1	1	1	1	1	1	135
142	ULTG Sarabaga Selatan	TOWER SITT 150KV KRILO-08097	OPERASI	LATICE	0,9	0,8	0,9	0,9	0,9 KVORITSSU	0,9	0,18	87	27,0186	1	1	1	1	1	1	1	1	1	135
143	ULTG Sarabaga Selatan	TOWER SITT 150KV KRILO-08099	OPERASI	LATICE	1,7	0,4	0,1	0,5	0,5 KVORITSSU	0,8	0,13	86	27,0098	1	1	1	1	1	1	1	1	1	135
169	ULTG Sarabaga Utara	TOWER SITT 150KV HUNGIT-SIDYAW-08019	OPERASI	LATICE	0,55	0,57	0,48	0,87	-KVORITSSU	0,87	0,16	86	27,0098	1	1	1	1	1	1	1	1	1	135
171	ULTG Sarabaga Utara	TOWER SITT 150KV HUNGIT-SIDYAW-08022	OPERASI	LATICE	0,86	0,92	0,84	0,87	0,88 KVORITSSU	0,82	0,17	89	28,0191	1	1	1	1	1	1	1	1	1	135
172	ULTG Sarabaga Utara	TOWER SITT 150KV HUNGIT-SIDYAW-08023	OPERASI	LATICE	0,86	0,19	0,94	0,88	0,88 KVORITSSU	0,94	0,16	83	29,3781	1	1	1	1	1	1	1	1	1	135
173	ULTG Sarabaga Utara	TOWER SITT 150KV HUNGIT-SIDYAW-08024	OPERASI	LATICE	1,13	1,1	1,37	1,44	-KVORITSSU	1,44	0,31	97	31,0172	1	1	1	1	1	1	1	1	1	135
174	ULTG Sarabaga Utara	TOWER SITT 150KV HUNGIT-SIDYAW-08025	OPERASI	LATICE	0,64	0,98	0,91	0,96	0,51 KVORITSSU	0,96	0,13	96	38,8374	1	1	1	1	1	1	1	1	1	135
175	ULTG Sarabaga Utara	TOWER SITT 150KV HUNGIT-SIDYAW-08026	OPERASI	LATICE	1,43	1,84	1,42	1,24	0,91 KVORITSSU	1,64	0,36	89	28,0191	1	1	1	1	1	1	1	1	1	135
185	ULTG Sarabaga Utara	TOWER SITT 150KV HUNGIT-SIDYAW-08036	OPERASI	WIA	24	0,86	0,42	0,54	0,21 KVORITSSU	24	0,18	42	13,4381	1	1	1	1	1	1	1	1	1	6
231	ULTG Sarabaga Selatan	TOWER SITT 150KV SULO-APROG-08014	OPERASI	LATICE	73,5	27,3	55,1	85	0,5 FLURE (CT-BRNG)	73,5	0,48	61	19,6807	1	1	1	1	1	1	1	1	1	171
238	ULTG Sarabaga Selatan	TOWER SITT 150KV SULO-APROG-08021	OPERASI	LATICE	2,6	2,5	0,7	10,2	FLURE (CT-BRNG)	18,2	1,89	77	24,6219	1	1	1	1	1	1	1	1	1	189
239	ULTG Sarabaga Selatan	TOWER SITT 150KV SULO-APROG-08022	OPERASI	LATICE	43,2	188,3	40,7	48,8	FLURE (CT-BRNG)	188,3	15,96	72	23,0221	1	1	1	1	1	1	1	1	1	189
244	ULTG Sarabaga Selatan	TOWER SITT 150KV SULO-APROG-08027	OPERASI	LATICE	1,6	1,7	1	1,7	0,9 KVORITSSU	1,7	0,26	89	29,1393	1	1	1	1	1	1	1	1	1	135
246	ULTG Sarabaga Selatan	TOWER SITT 150KV SULO-APROG-08029	OPERASI	LATICE	0,8	1,2	1,5	0,8	1 KVORITSSU	1,5	0,23	86	28,0191	1	1	1	1	1	1	1	1	1	135
248	ULTG Sarabaga Selatan	TOWER SITT 150KV SULO-APROG-08032	OPERASI	LATICE	0,9	0,9	1,1	1,4	0,7 KVORITSSU	1,4	0,19	88	28,1393	1	1	1	1	1	1	1	1	1	135
249	ULTG Sarabaga Selatan	TOWER SITT 150KV SULO-APROG-08033	OPERASI	LATICE	0,8	1,1	0,5	0,8	0,8 KVORITSSU	1,1	0,14	87	27,0186	1	1	1	1	1	1	1	1	1	135
251	ULTG Sarabaga Selatan	TOWER SITT 150KV SULO-APROG-08031	OPERASI	LATICE	1,9	1,8	0,9	0,9	0,9 KVORITSSU	1,9	0,28	86	27,0098	1	1	1	1	1	1	1	1	1	135
259	ULTG Sarabaga Utara	TOWER SITT 150KV SULO-KIRAN-08084	OPERASI	LATICE	1,86	-	1,85	2,16	0,78 KVORITSSU	2,16	0,35	44	14,8897	1	1	1	1	1	1	1	1	1	153
265	ULTG Sarabaga Utara	TOWER SITT 150KV SULO-KIRAN-08081	OPERASI	LATICE	2,2	2,46	2,13	2,64	0,57 KVORITSSU	2,64	0,36	55	17,6871	1	1	1	1	1	1	1	1	1	153
267	ULTG Sarabaga Utara	TOWER SITT 150KV SULO-KIRAN-08082	OPERASI	LATICE	2,21	1,99	2,86	2,85	0,88 KVORITSSU	2,21	0,33	54	17,2973	1	1	1	1	1	1	1	1	1	153
269	ULTG Sarabaga Utara	TOWER SITT 150KV SULO-KIRAN-08084	OPERASI	LATICE	2,15	2,46	2,89	2,86	0,66 KVORITSSU	2,68	0,31	59	18,8664	1	1	1	1	1	1	1	1	1	171
270	ULTG Sarabaga Utara	TOWER SITT 150KV SULO-KIRAN-08085	OPERASI	LATICE	2,16	1,96	1,87	1,87	0,54 KVORITSSU	2,16	0,26	61	19,6807	1	1	1	1	1	1	1	1	1	171
271	ULTG Sarabaga Utara	TOWER SITT 150KV SULO-KIRAN-08086	OPERASI	LATICE	1,85	2,45	2,88	2,88	1,82 KVORITSSU	2,88	0,36	63	20,1802	1	1	1	1	1	1	1	1	1	171
283	ULTG Sarabaga Utara	TOWER SITT 150KV SULO-KIRAN-08087	OPERASI	LATICE	1,85	1,96	1,86	1,86	1,86 KVORITSSU	1,86	0,36	63	20,1802	1	1	1	1	1	1	1	1	1	171



Gambar 4.9.2 Peta Usulan Pemasangan Multi Direct Grounding di UPT Surabaya

Secara teknis, implementasi metode MDG dilaksanakan dengan menambahkan elektroda pentanahan baru pada kaki menara yang diintegrasikan secara langsung menggunakan konduktor pentanahan. Pada lokasi tertentu dengan karakteristik tanah yang memerlukan penanganan khusus, pemasangan MDG dikombinasikan dengan sistem counterpoise guna memperluas area disipasi arus petir ke dalam tanah.

Konfigurasi sistem MDG ini dirancang untuk menurunkan nilai resistansi pentanahan total melalui penerapan prinsip hubungan paralel. Dengan bertambahnya jalur pelepasan arus, energi sambaran petir dapat terdistribusi secara merata ke beberapa jalur pentanahan sehingga tidak terpusat pada satu menara saja, yang secara efektif akan mereduksi kenaikan potensial menara (V_t) dan memitigasi risiko back flashover.

4.11 Analisis Keterkaitan Asesmen dan Rencana Pemasangan MDG

Analisis keterkaitan antara hasil asesmen sistem pentanahan dengan rencana implementasi metode Multi Direct Grounding (MDG) merefleksikan sebuah pendekatan yang sistematis serta berbasis pada data lapangan yang terukur. Fokus utama perbaikan diprioritaskan pada menara transmisi yang memiliki nilai tahanan pentanahan tertinggi dan terletak di wilayah dengan tingkat kerapatan petir ekstrim atau isokeraunik tinggi. Melalui penerapan metode MDG pada menara-menara hasil asesmen tersebut, diproyeksikan akan terjadi reduksi nilai tahanan pentanahan (R_t) secara signifikan. Penurunan nilai R_t tersebut secara langsung berkontribusi pada peredaman kenaikan potensial menara (V_t) saat terjadi sambaran petir, sesuai dengan prinsip dasar hukum Ohm yang dinyatakan dalam persamaan berikut:

$$V_t = I_p \times R_t \dots\dots\dots (7)$$

Keterangan:

V_t = Tegangan kenaikan potensial menara (kV).

I_p = Arus puncak petir (kA).

R_t = Tahanan pentanahan menara (Ω).

Dengan terkendalinya nilai V_t agar tetap berada di bawah ambang batas kemampuan isolasi sistem (Basic Insulation Level), maka probabilitas terjadinya gangguan back flashover dapat dimitigasi secara optimal. Langkah strategis ini diharapkan mampu meningkatkan indeks keandalan penyaluran energi listrik serta menjaga kontinuitas operasional pada jaringan transmisi 150 kV.

4.12 Implikasi Teknis terhadap Keandalan Jaringan Transmisi

Berdasarkan hasil analisis data asesmen pentanahan, penerapan metode Multi Direct Grounding (MDG) terbukti memberikan implikasi teknis yang signifikan terhadap peningkatan keandalan jaringan transmisi di wilayah kerja UPT Surabaya. Hasil evaluasi

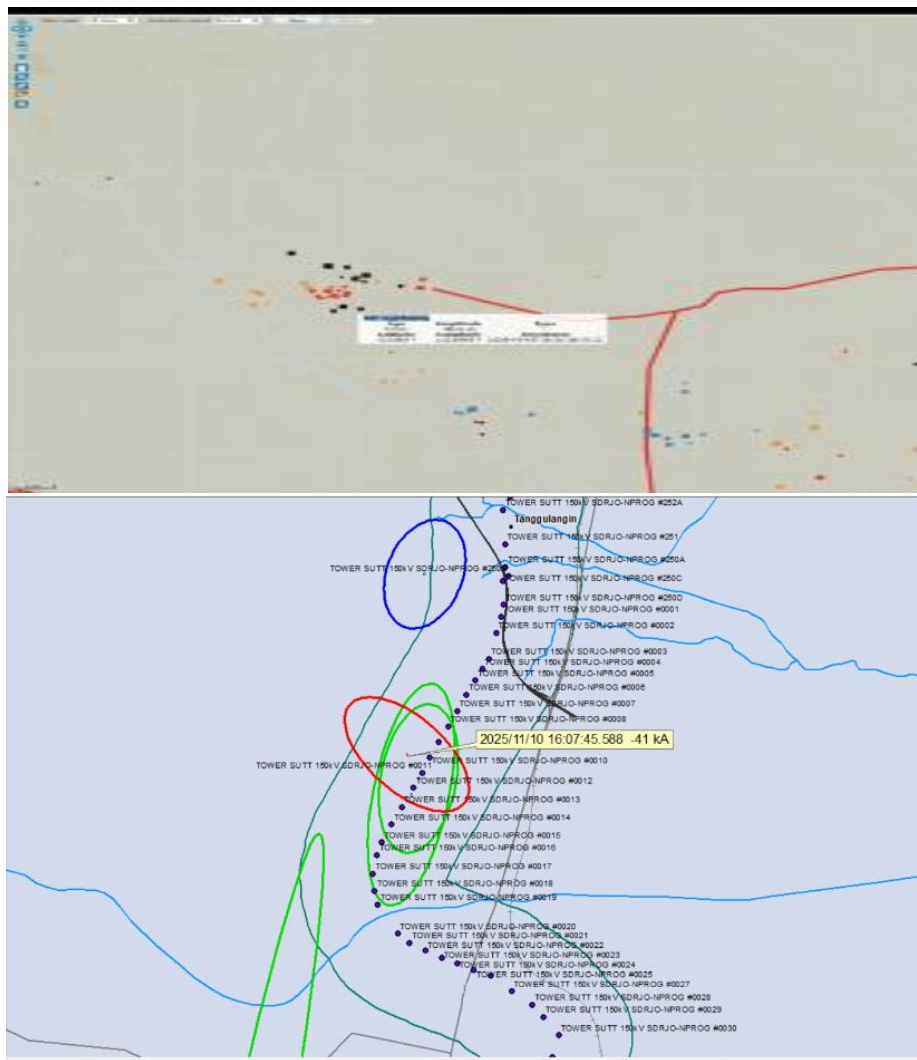
perbandingan menunjukkan bahwa implementasi MDG pada menara transmisi mampu mereduksi nilai tahanan pentanahan total (R_{total}) secara drastis dibandingkan dengan kondisi eksisting. Penurunan nilai resistansi ini terlihat paling optimal pada menara-menara yang memiliki karakteristik tahanan awal yang tinggi, sehingga secara langsung memperkuat sistem proteksi dalam memitigasi risiko gangguan petir. Penurunan nilai R_{total} tersebut berdampak langsung pada penurunan kenaikan potensial menara (V_t) saat terjadi sambaran petir.

Dengan menggunakan arus petir representatif sebesar **30 kA** yang diambil dari distribusi arus sambaran petir hasil pemantauan sistem lightning detection, penurunan R_{total} pada tower-tower prioritas berpotensi menurunkan nilai V_t secara proporsional. Sebagai contoh, pada tower dengan nilai R_{total} existing sebesar **4,55 Ω** , nilai V_t diperkirakan sebesar **136,5 kV**, dan setelah penerapan MDG dengan R_{total} turun menjadi **0,89 Ω** , nilai V_t diperkirakan turun menjadi **26,7 kV**, atau mengalami penurunan sebesar **$\pm 80\%$** .

Penurunan nilai V_t ini mengakibatkan berkurangnya tegangan stres pada rangkaian isolator dan arcing horn, sehingga **probabilitas terjadinya back flashover dapat ditekan**. Dengan berkurangnya kejadian back flashover, maka frekuensi gangguan petir yang menyebabkan trip saluran diharapkan dapat menurun, terutama pada segmen transmisi dengan tingkat aktivitas petir yang tinggi.

Penerapan metode MDG bertujuan menekan arus gangguan petir yang dapat memicu kenaikan potensial menara. Hal ini penting karena energi petir yang tidak terdisipasi dengan baik dapat merambat ke sistem distribusi dan menyebabkan arus hubung singkat yang besar. Menurut Pahiyanti et al. (2020), analisis arus gangguan hubung singkat sangat diperlukan untuk memastikan keandalan jaringan 20 kV. Lebih lanjut, Warsito & Pahiyanti (2025) serta Yusuf & Pahiyanti (2025) menyoroti bahwa perubahan beban dan penempatan komponen seperti trafo memerlukan manajemen suhu dan stabilitas beban yang optimal guna menghindari kerusakan peralatan akibat anomali listrik.

Secara operasional, implementasi rencana pemasangan MDG pada tower-tower prioritas di UPT Surabaya berpotensi meningkatkan **indeks keandalan sistem transmisi**, mengurangi gangguan sesaat maupun gangguan berulang, serta meningkatkan kontinuitas penyaluran daya antar gardu induk. Dengan demikian, sinergi antara kegiatan asesmen pentanahan dan rencana implementasi MDG merupakan langkah strategis dalam pengelolaan aset jaringan transmisi yang berorientasi pada peningkatan keandalan dan keselamatan operasi.



Gambar 4.9.3 Historis Gangguan Sambaran Petir di Vaisala

Dengan penerapan multi direct grounding, nilai tahanan pentanahan dapat diturunkan secara signifikan. Misalnya hasil dari gangguan historis ini:



Gambar 4.9.4 Hasil CUI Isolator dan Fitting

Hasil CUI oleh Tim PDKB UPT Surabaya dan Harjar SBS

Pasca Gangguan reclose ruas Sidoarjo - New porong #2

Tanggal 11 Nopember 2025

Pukul 11.30

1. SUTT 150 KV SIDOARJO - NEW PORONG#2
2. Penyebab : Alam (petir) BFO

Temuan :

T 19

3. Jumper gsw : normal
4. grounding : ada di 4 kaki tower dg skun tipis
5. top grounding : proses pemasangan belum tersambung ke ground lead
6. arching horn : ujung sphere arching horn ada bekas leleh dan ngefong / gosong
7. presentase airgap dg panjang isolator 80%
8. isolator : normal
9. Sudut Lindung gsw : 14,5 Derajad



Gambar 4.9.5 Hasil Pengukuran Pentanahan

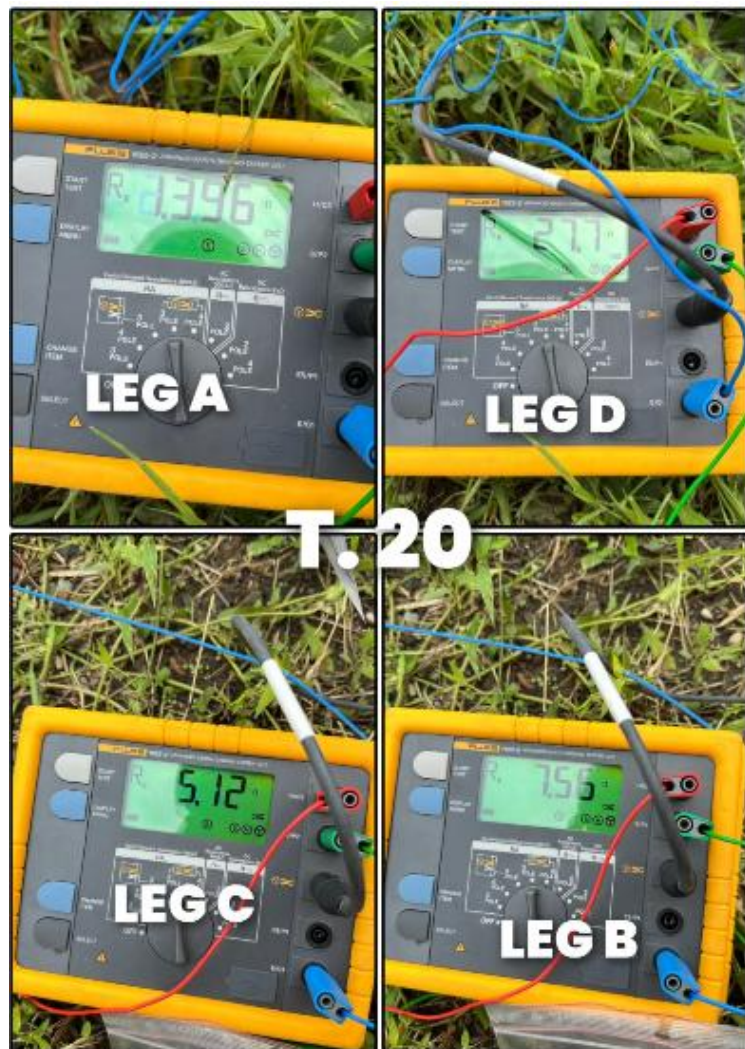
10. Hasil Uji pentanahan leg A : 12,94 , leg B ; 7,33 Leg C : 46,2 Leg D : 52,4



Gambar 4.9.6 Hasil CUI Isolator dan Fitting

T 20

1. jumper gsw : sambungan ke travest ada bekas ngefong / gosong sedikit
2. grounding : tidak ada
3. top grounding : proses pemasangan belum tersambung ke ground lead
4. arching horn : ujung sphere arching horn ada bekas ngefong / gosong sedikit
5. presentase airgap dg panjang isolator 80%
6. isolator : normal
7. Sudut Lindung GSW : 14,2 Derajat



Gambar 4.9.7 Hasil Pengukuran Pentanahan

1. Hasil Uji Pentanahan leg A : 1,396 , leg B ; 7,56 Leg C : 5,12 Leg D : 27

Tindak lanjut:

2. perbaikan top grounding, MRG atau MDG dan leg grounding

Telah terjadi gangguan reclose pada ruas **SUTT 150 kV Sidoarjo – New Porong #2** yang berdasarkan indikasi sistem dan hasil inspeksi lapangan dikategorikan sebagai gangguan akibat **sambaran petir**. Untuk memastikan penyebab gangguan serta mengevaluasi kondisi

proteksi petir dan sistem pentanahan, dilakukan **Close Up Inspection (CUI)** pada tower terdekat dengan titik gangguan, yaitu **Tower 19 (T19)** dan **Tower 20 (T20)**.

Berdasarkan perhitungan tahanan paralel:

Tower 19

$$R_{\text{total}} \approx 3,9 \, \Omega$$

Tower 20

R_{total} lebih baik dari T19, namun **tidak optimal** karena:

1. Tidak ada grounding menyeluruh
2. Top grounding belum terhubung

Pendekatan dominan tegangan tower akibat petir:

$$V_T = I_p \times R_t$$

Dengan asumsi arus petir berdasarkan data regional:

$$I_p = 41 \, \text{kA}$$

$$R_t (\text{T19}) = 3,9 \, \Omega$$

$$V_T = 41.000 \times 3,9 = 160 \, \text{kV}$$

Data Isolasi:

1. BIL isolator per keping = 110 kV
2. Jumlah keping = 12
3. BIL isolator linear = 1.320 kV
4. BIL arcing horn = 736 kV

Evaluasi:

1. $V_T (160 \, \text{kV}) \ll \text{BIL isolator} (1.320 \, \text{kV}) \rightarrow \text{Isolator tidak rusak}$

2. VT (160 kV) < BIL arcing horn (736 kV) → Secara desain masih aman

Namun, secara **kondisi aktual lapangan**:

1. Top grounding **belum tersambung**
2. Grounding kaki tower **tidak seragam**. Nilai pentanahan antar leg **tidak merata**, dengan dua leg memiliki tahanan sangat tinggi ($>40 \Omega$).
3. Arus petir tidak terdistribusi optimal ke tanah

Sehingga terjadi **kenaikan tegangan lokal** pada tower yang cukup untuk memicu **loncatan pada arcing horn**, ditandai dengan bekas leleh dan gosong.

Tabel 4.3 Historis Gangguan

Parameter	Tower 19 (T19)	Tower 20 (T20)	Keterangan
Arus Petir Ip (kA)	41	41	Asumsi sama untuk kedua tower
Tahanan Pentanahan Rt (Ohm)	3,9	< 3.9	Hasil uji lapangan
Tegangan Tower VT (kV)	160	< 160	$VT = I_p \times R_t$
BIL Isolator Linear (kV)	1320	1320	12 keping x 110 kV
VT vs BIL Isolator	VT << BIL	VT << BIL	Isolator aman
BIL Arcing Horn (kV)	736	736	Data desain
VT vs BIL Arcing Horn	VT < BIL	VT < BIL	Tidak tembus isolasi
Margin Keamanan Isolator (%)	±88%	>88%	Margin sangat aman
Margin Keamanan Arcing Horn (%)	±78%	>78%	Masih aman
Potensi Back Flashover	Tinggi	Sedang	Dipengaruhi kondisi grounding
Indikasi Lapangan	Leleh & gosong AH	Gosong ringan AH	Hasil CUI
Rekomendasi	MRG,MDG & top grounding	MRG,MDG & top grounding	Perlu perbaikan

Tabel 4.4 Historis Perbaikan Pentanahan

Tower	Kondisi	Rt (Ω)	VT (kV)
T19	Sebelum MDG	3,9	160
T19	Sesudah MDG	0,26	10,7
T20	Sebelum MDG	~2–3 (tidak merata)	>80
T20	Sesudah MDG	0,36	14,8

Penurunan VT > 90%

Tabel 4.4 menunjukkan bahwa penerapan metode Multi Direct Grounding (MDG) menurunkan tahanan pentanahan total tower secara signifikan. Pada Tower 19, nilai Rt turun dari 3,9 Ω menjadi 0,26 Ω , sehingga menurunkan tegangan naik menara (Vt) dari 160 kV menjadi 10,7 kV. Penurunan serupa juga terjadi pada Tower 20, di mana Vt turun dari 86,1 kV menjadi 14,8 kV. Kondisi ini menunjukkan bahwa setelah MDG, sistem pentanahan mampu mendistribusikan arus petir secara optimal dan menurunkan risiko terjadinya back flashover.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisis data gangguan, investigasi teknis di lapangan, serta simulasi perhitungan penerapan metode Multi Direct Grounding (MDG) pada jaringan SUTT 150 kV di wilayah kerja UPT Surabaya, dapat ditarik beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Penyebab Utama Gangguan: Tingginya frekuensi gangguan Back Flashover (BFO) pada ruas transmisi, khususnya ruas Waru – Sidoarjo, dipicu oleh kondisi geografis "Zona Merah" dengan tingkat isokeraunic ekstrem (30-50 sambaran/km²/tahun) yang tidak diimbangi dengan sistem pentanahan menara yang efektif.
2. Anomali Teknis Lapangan: Hasil inspeksi pada menara prioritas (seperti Menara 19 dan 20) menunjukkan adanya ketidakefektifan sistem pentanahan eksisting, di mana kondisi top grounding belum terhubung secara sempurna ke ground lead serta distribusi beban arus pada kaki-kaki menara tidak merata (tahanan salah satu kaki mencapai >40 Ω).
3. Lonjakan Tegangan Menara (V_t): Berdasarkan analisis perhitungan menggunakan persamaan $V_t = I_p \times R_t$, nilai resistansi pentanahan yang tinggi menyebabkan kenaikan potensial menara mencapai 160 kV pada saat terjadi sambaran petir 41 kA. Meskipun secara teoritis di bawah BIL isolator linear, kondisi sambungan yang buruk memicu loncatan api pada arcing horn yang terdeteksi melalui bekas leleh dan gosong di lapangan.
4. Efektivitas Metode MDG: Implementasi metode MDG terbukti mampu mereduksi nilai resistansi pentanahan secara drastis. Sebagai contoh, pada Menara 19, nilai R_t turun dari 3,9 Ω menjadi 0,26 Ω , yang mengakibatkan penurunan tegangan menara (V_t) sebesar 93% (dari 160 kV menjadi 10,7 kV), sehingga sistem berada pada level yang sangat aman di bawah ambang batas BIL.

5. Peningkatan Keandalan: Penerapan MDG sebagai sistem pentanahan multiparalel memberikan solusi permanen untuk mendistribusikan arus petir secara merata ke seluruh elektroda, memitigasi risiko BFO, dan meningkatkan indeks keandalan penyaluran tenaga listrik di wilayah UPT Surabaya.

5.2 Saran

Untuk mengoptimalkan hasil penelitian ini dan menjaga keandalan sistem transmisi di masa mendatang, disarankan beberapa hal sebagai berikut:

1. Prioritas Implementasi: Mengingat efektivitas MDG yang signifikan, diharapkan PT PLN (Persero) UPT Surabaya memprioritaskan pemasangan MDG pada menara-menara di jalur transmisi dengan riwayat gangguan petir tertinggi dan nilai resistansi awal $> 5 \Omega$.
2. Pemeliharaan Berkala: Perlu dilakukan inspeksi rutin terhadap kualitas sambungan konduktor pentanahan dan pembersihan korosi pada elektroda, karena kualitas instalasi sangat memengaruhi performa jangka panjang sistem MDG.
3. Monitoring Sistem: Pemanfaatan data dari Vaisala Lightning Detection System (LDS) secara kontinyu sangat disarankan untuk mengevaluasi kinerja menara pasca-penerapan MDG saat terjadi cuaca ekstrem.

DAFTAR PUSTAKA

- {1} Adiwibowo, T. S. (2018). Perancangan Proteksi Petir SUTET 500 kV: Evaluasi Lightning Performance. *Jurnal Energi dan Kelistrikan ITPLN*, 10(2), 45–53.
- {2} Damiri, Dj. (2024). Pemodelan Sistem Pembumian pada Gardu Induk 150 kV Tayan, Kalimantan Barat Menggunakan Grid Analysis CYMGRD. *Jurnal SUTET*, 14(1), 23–31.
- {3} Fadilah, R., & Saputra, T. (2021). Pengaruh Resistivitas Tanah terhadap Kinerja Sistem Grounding Gardu Induk. *Jurnal Energi dan Kelistrikan*, 13(2), 47–56.
- {4} Hajar, I. (2017). Disain Sistem Pentanahan Proteksi Petir Sistem Multiple Vertical Electrodes pada Terminal Lawe-Lawe – Pertamina DHP. *Jurnal SUTET*, 7(1), 15–22.
- {5} Hajar, I., & Romadani, D. (2023). Analisa Hasil Pengukuran Tahanan Pentanahan Pada Peralatan di Switchyard Gardu Induk Angke PT PLN (Persero) UIT – JBB. *Jurnal ITPLN*, 11(1), 33–41.
- {6} Handayani, R., & Rakhmawati, I. (2020). Kajian Penurunan Tahanan Pentanahan Menggunakan Bahan Tambahan (Backfill) pada Sistem Transmisi. *Jurnal Rekayasa Elektrika*, 16(3), 125–132.
- {7} International Electrotechnical Commission. (2010). Protection Against Lightning (IEC 62305). Geneva: IEC.
- {8} International Electrotechnical Commission. (2019). Insulation Coordination – Part 1: Definitions, Principles and Rules (IEC 60071-1). Geneva: IEC.
- {9} Junaidi, A., Achmad Yustiadi, T., Risma, M., & Nugroho, A. (2025). Analisis Shielding Failure Pada SUTT 150 kV Gandul-Serpong Menggunakan Metode Elektromeometri. *Jurnal SUTET*, 15(1).
- {10} Kurniawan, B., & Wibowo, H. (2023). Perancangan Sistem Pembumian Multi-Elektroda untuk Peningkatan Keandalan Tower Transmisi 150 kV. *Jurnal Tenaga Listrik*, 19(1), 22–30.

- {11} Pahiyanti, N. G., et al. (2018). Analisa Jatuh Tegangan pada Jaringan Tegangan Rendah (JTR) di Penyulang Indarung. *Jurnal Ilmiah Teknik Elektro ITPLN*.
- {12} Pahiyanti, N. G., & Pasra, N. (2019). Gangguan pada Gardu Distribusi Tipe Portal. *ENERGI & KELISTRIKAN*, 8(1), 43–47.
- {13} Pahiyanti, N. G., et al. (2020). Analisis Arus Gangguan Hubung Singkat pada Jaringan Distribusi 20 kV. *Prosiding Seminar Nasional Energi*.
- {14} Prakoso, A. D., & Sulisty, D. (2019). Analisis Perbaikan Sistem Pentanahan Pada Gardu Induk Dengan Metode Penambahan Elektroda. *Jurnal Nasional Teknik Elektro dan Teknologi Informasi (JNTETI)*, 8(4), 312–319.
- {15} PT PLN (Persero). (2014). *Sistem Pentanahan Menara Transmisi (SPLN T5.007:2014)*. Jakarta: PT PLN (Persero).
- {16} PT PLN (Persero). (2020). *Spesifikasi Teknis untuk Menara Transmisi Tenaga Listrik (Bagian: Sistem Grounding) (SPLN T 05.12:2020)*. Jakarta: PT PLN (Persero).
- {17} Purwono, E. Y. (2022). Evaluasi Kelayakan Instalasi Gedung TTSK 3 Lantai PT.... *Jurnal Energi dan Kelistrikan*, 14(1), 17–24.
- {18} Sani, M. W., & Gunawan. (2024). Optimasi Keandalan Tower SUTET 500 kV dengan Multi Direct Grounding terhadap Gangguan Petir. *Jurnal Informatika dan Teknik Elektro Terapan (JITET)*, 13(3), 1417–1424.
- {19} Sari, Y. P., & Nugroho, P. (2022). Analisis Tegangan Sentuh dan Tegangan Langkah pada Tower Transmisi dengan Variasi Sistem Grounding. *Jurnal Teknik Elektro*, 14(1), 55–63.
- {20} Suwarno, S., & Mukhlis, M. (2018). Evaluasi Sistem Grounding pada Tower Transmisi 150 kV Menggunakan Metode Simulasi dan Pengukuran Lapangan. *Jurnal Teknologi Elektro*, 9(2), 101–110.
- {21} Warsito, W., & Pahiyanti, N. G. (2025). Analisis Pengaruh Dampak Pecah Beban Penyulang Tinombo dan Pembangunan Gardu Hubung. *Diploma thesis, ITPLN*.

- {22} Yusuf, Y., & Pahiyanti, N. G. (2025). Analisa Pengaruh Penempatan Trafo Distribusi Terhadap Nilai Kenaikan Suhu Belitan Primer dan Sekunder Trafo. Diploma thesis, ITPLN.

DAFTAR RIWAYAT HIDUP



DATA PRIBADI

Nama Mahasiswa : Wildan Istiklal
Program Studi : D-III Teknologi Listrik
NIM : 202371568
Tempat, tanggal lahir : Pamekasan, 16 Agustus 1992
Jenis Kelamin : Laki-laki
Agama : Islam
No HP : 081293076283
Email : kacong1992@gmail.com
Alamat Rumah : Jl. Stadion gang 09 RT06 RW02. Kec.Pademawu Kab. Pamekasan

Pendidikan
SD : SDN 07 Pamekasan.....tahun lulus 2005
SMP : SMPN 01 Pamekasan.....tahun lulus 2008
SMA : MAN 1 Juncangcangtahun lulus 2011

Demikianlah daftar riwayat hidup ini dibuat dengan sebenarnya.

Jakarta, 8 September 2025



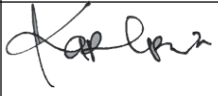
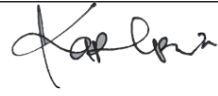
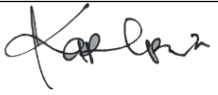
Wildan Istiklal



LEMBAR BIMBINGAN PROYEK AKHIR

Nama Mahasiswa : Wildan Istiklal
 NIM : 202371568
 Program Studi : D-III Teknologi Listrik
 Jenjang : Diploma
 Fakultas : Sekolah Vokasi
 Pembimbing Utama (Materi) : Kartiria, S.T.,M.T.
 Judul Proyek Akhir : Penerapan Metode Multi Direct Grounding (MDG) dalam Perbaikan Sistem Pentanahan Listrik Pada Tower Transmisi

Tanggal	Materi Bimbingan	Paraf Pembimbing
23 September 2025	Penyampaian Kerangka Proposal Proyek Akhir	
27 September 2025	Pembahasan Judul Proyek Akhir	
04 Oktober 2025	Penyerahan Judul Proyek Akhir	
18 Oktober 2025	Persetujuan Judul & Proposal Proyek Akhir	
29 November 2025	Konsultasi Mengenai Pedoman Proyek Akhir	

01 Desember 2025	Penyerahan BAB I	
13 Desember 2025	Revisi BAB I dan Penyerahan BAB II	
20 Desember 2025	Revisi BAB II dan Penyerahan BAB III	
12 Januari 2026	Revisi BAB III	
21 Januari 2026	Konsultasi Mengenai Bagian Isi Pedoman Laporan Proyek Akhir	
22 Januari 2026	Penyerahan BAB IV dan Penyerahan BAB V	
28 Januari 2026	Revisi BAB IV dan BAB V	

tugas-akhir-wildan-istiklal-final_1772015764868.pdf

ORIGINALITY REPORT

13%

SIMILARITY INDEX

PRIMARY SOURCES

1	jurnal.itpln.ac.id Internet	340 words — 3%
2	pdfcoffee.com Internet	171 words — 1%
3	www.scribd.com Internet	131 words — 1%
4	journal.eng.unila.ac.id Internet	99 words — 1%
5	eprints.stbalia.ac.id Internet	71 words — 1%
6	repository.unas.ac.id Internet	51 words — < 1%
7	repository.ub.ac.id Internet	41 words — < 1%
8	Reza Muhammad Ghani, Jenny Putri Hapsari. "Analisa Efektivitas Pemasangan Multitrod- Grounding pada SUTET 500kV Mandirancan-Pemalang Line 3&4 dengan Metode Paired Sample T-Test", Electrician : Jurnal Rekayasa dan Teknologi Elektro, 2025 Crossref	39 words — < 1%

Formulir 6

	INSTITUT TEKNOLOGI PLN	Kode	FO-PC-A03-2-003-3-012
		Tanggal	10 Februari 2025
	NILAI SIDANG TUGAS AKHIR	Level	2
		Revisi ke-	3

PERBAIKAN NASKAH TUGAS AKHIR

Tanggal ujian sidang : 23 Februari 2026
 Nama mahasiswa : Wildan Istiklal
 NIM : 202371568
 Program Studi : D-III Teknologi Listrik
 Sekolah : Sekolah Vokasi
 Judul Tugas Akhir : Penerapan Metode Multi Direct Grounding
 (Mdg) Dalam Perbaikan Sistem Pentanahan
 Listrik Pada Tower Transmisi

Saran perbaikan naskah tugas akhir adalah sebagai berikut:

- perbaiki apa saja yang ada dilampiran buku tugas akhirnya
- tambahkan jurnal novi gusti pahiyanti kedalam daftar pustaka minimal 5 judul lalu disitasi

Jangka waktu perbaikan naskah tugas akhir diatas harus diselesaikan paling lambat satu minggu setelah tanggal ujian yakni pada tanggal

27 Februari 2026

Apabila dalam jangka waktu tersebut mahasiswa tersebut diatas tidak dapat menyelesaikan **REVISI tugas akhirnya**, maka mahasiswa harus kembali mengulang sidang.

Mahasiswa



Wildan Istiklal

Ketua Penguji



**Novi Gusti Pahiyanti, S.T.,
M.T.**

Tugas akhir telah selesai diperbaiki pada tanggal

Mahasiswa



Wildan Istiklal

Ketua Penguji



**Novi Gusti Pahiyanti, S.T.,
M.T.**

Formulir 7

	INSTITUT TEKNOLOGI PLN	Kode	FO-PD-A03-2-003-3-012
		Tanggal	10 Februari 2025
	NILAI SIDANG TUGAS AKHIR	Level	2
		Revisi ke-	3

PERBAIKAN NASKAH TUGAS AKHIR

Tanggal ujian sidang : 23 Februari 2026
 Nama mahasiswa : Wildan Istiklal
 NIM : 202371568
 Program Studi : D-III Teknologi Listrik
 Sekolah : Sekolah Vokasi
 Judul Tugas Akhir : Penerapan Metode Multi Direct Gounding
 (Mdg) Dalam Perbaikan Sistem Pentanahan
 Listrik Pada Tower Transmisi

Saran perbaikan naskah tugas akhir adalah sebagai berikut:

- Perbaikan penulisan yang baku sesuai ejaan yang disempurnakan
- Perbaikan pada beberapa gambar yang buram

Jangka waktu perbaikan naskah tugas akhir diatas harus diselesaikan paling lambat satu minggu setelah tanggal ujian yakni pada tanggal

27 Februari 2026

Apabila dalam jangka waktu tersebut mahasiswa tersebut diatas tidak dapat menyelesaikan **REVISI tugas akhirnya**, maka mahasiswa harus kembali mengulang sidang.

Mahasiswa



Wildan Istiklal

Anggota Penguji



Munir Fasihu, ST., M.Sc

Tugas akhir telah selesai diperbaiki pada tanggal

Mahasiswa



Wildan Istiklal

Anggota Penguji



Munir Fasihu, ST., M.Sc

Formulir 8

	INSTITUT TEKNOLOGI PLN	Kode	FO-PD-A03-2-003-3-012
		Tanggal	10 Februari 2025
	NILAI SIDANG TUGAS AKHIR	Level	2
		Revisi ke	3

PERBAIKAN NASKAH TUGAS AKHIR

Tanggal ujian sidang : **23 Februari 2026**
 Nama mahasiswa : **Wildan Istiklal**
 NIM : **202371568**
 Program Studi : **D-III Teknologi Listrik**
 Sekolah : **Sekolah Vokasi**
 Judul Tugas Akhir : **Penerapan Metode Multi Direct Gounding (Mdg) Dalam Perbaikan Sistem Pentanahan Listrik Pada Tower Transmisi**

Saran perbaikan naskah tugas akhir adalah sebagai berikut:

sesuai dengan arahan penguji saat sidang

Jangka waktu perbaikan naskah tugas akhir diatas harus diselesaikan paling lambat satu minggu setelah tanggal ujian yakni pada tanggal

27 Februari 2026

Apabila dalam jangka waktu tersebut mahasiswa tersebut diatas tidak dapat menyelesaikan **REVISI tugas akhirnya**, maka mahasiswa harus kembali mengulang sidang.

Mahasiswa



Wildan Istiklal

Dosen Pembimbing



Kartira, S.T., M.T.

Tugas akhir telah selesai diperbaiki pada tanggal

Mahasiswa



WILDAN ISTIKLAL

Dosen Pembimbing



Kartira, S.T., M.T.

Formulir 9

	INSTITUT TEKNOLOGI PLN	Kode	FO-PD-A03-2-003-3-011
		Tanggal	10 Februari 2025
	NILAI SIDANG TUGAS AKHIR	Level	2
		Revisi ke-	3

RINGKASAN PERBAIKAN NASKAH TUGAS AKHIR

Tanggal ujian sidang : 23 Februari 2026
 Nama mahasiswa : Wildan Istiklal
 NIM : 202371588
 Program Studi : D-III Teknologi Listrik
 Sekolah : Sekolah Vokasi
 Judul Tugas Akhir : Penerapan Metode Multi Direct Grounding
 (Mdg) Dalam Perbaikan Sistem Pentanahan
 Listrik Pada Tower Transmisi

Saran perbaikan naskah tugas akhir adalah sebagai berikut:

.....

.....

.....

.....

.....

Jangka waktu perbaikan naskah tugas akhir diatas harus diselesaikan paling lambat satu minggu setelah tanggal ujian yakni pada tanggal

27 Februari 2026

Apabila dalam jangka waktu tersebut mahasiswa tersebut diatas tidak dapat menyelesaikan **REVISI tugas akhirnya**, maka mahasiswa harus kembali mengulang sidang.

Mahasiswa



Wildan Istiklal

Dosen Pembimbing



Kartira, S.T., M.T.

Ketua Penguji



**Novi Gusti Pahiyanti, S.T.,
M.T.**

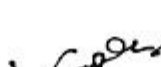
Tugas akhir telah selesai diperbaiki pada tanggal

Mahasiswa



Wildan Istiklal

Dosen Pembimbing



Kartira, S.T., M.T.

Ketua Penguji



**Novi Gusti Pahiyanti, S.T.,
M.T.**