

OPTIMASI KEANDALAN TOWER SUTET 500KV DENGAN MULTI DIRECT GROUNDING TERHADAP GANGGUAN PETIR

Muhammad Wildan Sani¹, Gunawan²

^{1,2} Teknik Elektro, Universitas Islam Sultan Agung; Jl. Kaligawe Raya No. Km. 04, Semarang

Keywords:

Gangguan Petir,, Multi Direct Grounding (MDG), Resistansi Pentanahan, Kegagalan Autoreclose, Keandalan SUTET

Correspondent Email:

muhammadwildansani95@gmail.com

Abstrak. Penelitian ini dilakukan untuk meningkatkan keandalan sistem transmisi SUTET 500 kV terhadap gangguan petir yang sering menyebabkan kegagalan sistem autoreclose, khususnya pada jalur New Tambun – Muara Tawar. Gangguan tersebut dapat menyebabkan pemadaman berkepanjangan dan menurunkan kontinuitas pasokan listrik. Salah satu solusi yang ditawarkan adalah penerapan metode Multi Direct Grounding (MDG), yaitu sistem pentanahan dengan beberapa titik grounding langsung ke tanah. Metode penelitian yang digunakan adalah gabungan pendekatan kuantitatif dan kualitatif, dengan pengumpulan data resistansi pentanahan eksisting dan perancangan sistem MDG berbasis simulasi dan data lapangan. Hasil pengukuran menunjukkan bahwa penerapan MDG berhasil menurunkan resistansi pentanahan dari nilai awal $>1 \Omega$ menjadi $<0,7 \Omega$, serta mengurangi potensi backflashover dan meningkatkan keberhasilan autoreclose. Penurunan nilai resistansi ini juga berdampak pada stabilitas sistem proteksi dan keamanan peralatan. Kesimpulannya, metode MDG efektif dalam meningkatkan keandalan jalur transmisi SUTET terhadap gangguan petir dan layak dijadikan rekomendasi teknis bagi peningkatan sistem pentanahan pada jaringan transmisi di wilayah rawan petir.



JITET is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License

Abstract. This study aims to enhance the reliability of the 500 kV EHV transmission system against lightning disturbances, which frequently cause autoreclose failures, particularly on the New Tambun – Muara Tawar transmission line. Such failures can lead to prolonged outages and reduce the continuity of power supply. One proposed solution is the implementation of the Multi Direct Grounding (MDG) method, a grounding system with multiple direct connections to the earth. This research adopts a mixed-methods approach, combining quantitative and qualitative data, including existing grounding resistance measurements and the design of the MDG system based on simulations and field data. Measurement results show that applying the MDG method successfully reduced grounding resistance from values exceeding 1Ω to below 0.7Ω , minimized the risk of backflashover, and improved the success rate of autoreclose operations. The reduction in grounding resistance also contributed to the stability of the protection system and the safety of equipment. In conclusion, the MDG method is proven effective in improving the reliability of EHV transmission lines against lightning disturbances and is recommended as a technical solution for enhancing grounding systems in lightning-prone areas.

1. PENDAHULUAN

Sistem transmisi tenaga listrik tegangan ekstra tinggi (SUTET) 500 kV merupakan tulang

punggung dalam pendistribusian energi listrik dari pembangkit ke pusat beban [1]. Namun, keandalan sistem ini sangat dipengaruhi oleh gangguan eksternal, terutama gangguan akibat petir. Indonesia sebagai negara tropis memiliki tingkat kejadian petir yang sangat tinggi, sehingga risiko gangguan pada saluran transmisi menjadi perhatian serius [2]. Salah satu gangguan paling umum adalah *backflashover*, yaitu loncatan listrik dari body tower ke konduktor yang terjadi akibat tegangan tinggi di kaki tower saat sambaran petir, biasanya disebabkan oleh resistansi pentanahan yang tinggi [3].

Penelitian sebelumnya banyak berfokus pada peningkatan keandalan sistem grounding dengan menurunkan nilai resistansi pentanahan. Upaya ini dilakukan melalui penggunaan elektrode tambahan, bahan konduktif seperti bentonit, dan sistem pentanahan berbentuk grid [4]. Namun, pendekatan konvensional seringkali tidak cukup efektif pada daerah dengan resistivitas tanah tinggi. Oleh karena itu, diperlukan inovasi sistem grounding yang mampu meningkatkan jalur pembuangan arus petir secara cepat dan aman [5].

Salah satu metode alternatif yang mulai diteliti adalah Multi Direct Grounding (MDG), yaitu metode pentanahan dengan beberapa titik tanah langsung yang terhubung ke satu struktur menara. Teori pendukung dari konsep ini mencakup hukum Ohm dan prinsip pembagian arus pada jalur paralel, dimana semakin banyak jalur pembumian, maka resistansi total akan semakin rendah [6]. Penurunan resistansi ini penting untuk mempercepat pelepasan muatan petir dan mengurangi risiko *backflashover* yang menyebabkan kegagalan autoreclose.

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Sistem Transmisi Tegangan Ekstra Tinggi (SUTET)

Sistem transmisi tegangan ekstra tinggi (SUTET) merupakan bagian dari infrastruktur tenaga listrik yang berfungsi untuk menyalurkan daya dari pusat pembangkitan menuju pusat beban dengan tegangan 500 kV atau lebih [7]. Sistem ini dirancang untuk meminimalkan rugi-

rugi daya, meningkatkan efisiensi transmisi, serta mempertahankan kestabilan sistem tenaga secara menyeluruh [8]. Di Indonesia, jaringan transmisi 500 kV menjadi tulang punggung interkoneksi Jawa-Bali, terutama untuk mendukung kawasan industri dan metropolitan yang memiliki permintaan daya tinggi.

Dalam sistem saluran transmisi perlu dihitung kapasitas daya saluran transmisi. Tujuan tersebut digunakan untuk mengantisipasi apabila terjadi penambahan beban seiring dengan berkembangnya teknologi. Untuk menentukan kapasitas daya maksimum yang bisa tersalurkan, bisa menggunakan rumus persamaan [9]:

$$Prs = \frac{V^2}{1000 \cdot L} k$$

Dimana

Prs = Kapasitas daya saluran (MW)

V = Tegangan standar (kV)

K = Koefisien kapasitas

L = Panjang saluran (KM)

Koefisien dapat dilihat di bawah ini :

Tabel 1 Koefisien Kapasitas [9]

Tegangan Standar (kV)	Koefisien Kapasitas (k)
70	600
150	800
275	800
500	800

(Sumber : Syariffudin M Ir., M.Eng, Perencanaan Jaringan Transmisi Tegangan Tinggi)

2.2 Sambaran Petir dan Tegangan Lebih

Petir adalah fenomena alam yang disebabkan oleh pelepasan muatan Listrik di atmosfer dan dapat menimbulkan lonjakan tegangan atau surge overvoltage pada sistem tenaga Listrik [10]. Sambaran petir dapat bersifat langsung, seperti menyambar kawat tanah atau tower, maupun tidak langsung, yaitu induksi elektromagnetik yang menginduksi tegangan pada konduktor fasa

Guru Besar ITB, Prof. Dr. Dipl.Ing.Ir. Reynaldo Zoro [11] menjelaskan, ada tiga syarat yang harus terpenuhi sehingga petir dapat

terjadi. Pertama penguapan. Adanya panas matahari yang menguapkan air, kedua terdapat partikel mengambang di udara yang biasanya dari garam laut atau polutan industri, dan ketiga kelembapan suatu daerah. Menara transmisi dapat dimodelkan sebagai elemen induktif atau memiliki karakteristik impedansi surja. Jika pendekatan induktansi digunakan untuk merepresentasikan menara, maka nilai tahanan pentanahan efektif (R'_0) dan impedansi surja dari kawat tanah (Z'_g) perlu disesuaikan agar tetap merefleksikan respons transien sistem secara akurat. Induktansi Tower dapat dihitung dengan persamaan [11] :

$$L = \left[\frac{Z'_g + 2R'_0}{Z'_g} \right]^2 \frac{2Z_w T_t}{1 - \Psi}$$

Dimana

L : Induktansi Tower

R'_0 : Tahanan pentanahan penyesuaian

Z'_g : Impedansi surja kawat tanah penyesuaian

Z_w : Impedansi surja

Ψ : Faktor damping menara

T_t : waktu tempuh gelombang petir di menara

Lonjakan tegangan yang dihasilkan oleh petir dapat menyebabkan gangguan serius terhadap peralatan transmisi jika tidak ditangani dengan sistem proteksi dan pentanahan yang memadai. Tegangan lebih yang tidak tersalurkan secara cepat dan aman ke tanah berpotensi menimbulkan percikan Listrik (*flashover*) yang dapat merusak isolator, mengaktifkan sistem proteksi, dan memutuskan aliran Listrik [12].

2.3 BackFlashover

Backflashover merupakan salah satu bentuk gangguan listrik yang terjadi ketika beda potensial antara kaki tower dan konduktor fasa melebihi batas tegangan isolator [13]. Akibatnya, terjadi loncatan listrik dari struktur tower ke konduktor. Hal ini biasanya terjadi ketika arus petir yang masuk ke tower tidak dapat segera disalurkan ke tanah karena tingginya resistansi pentanahan. Jika nilai tegangan *flashover* melebihi kemampuan *Basic Insulation Level (BIL)* dari isolator, maka sistem

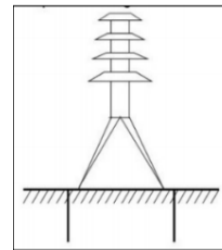
proteksi akan melakukan pemutusan (*Trip*) [14]. Gangguan ini bisa menyebabkan kerja sistem autoreclose menjadi gagal apabila gangguan tidak segera hilang atau terjadi secara berulang.

2.4 Sistem Pentanahan

Grounding atau sistem pentanahan adalah komponen penting dalam jaringan tenaga listrik yang berfungsi untuk menyalurkan arus gangguan ke tanah, sehingga melindungi peralatan dan sistem dari tegangan lebih akibat gangguan seperti petir [15]. Sistem grounding yang efektif harus memiliki impedansi atau resistansi serendah mungkin agar arus gangguan dapat segera terdisipasi ke tanah tanpa menimbulkan tegangan tinggi lokal.

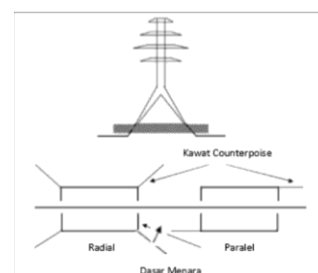
Beberapa sistem pentanahan yang umum digunakan meliputi [16]:

- Ground rod/ Driven Ground: batang logam vertikal yang ditanam ke dalam tanah.



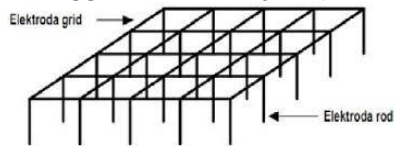
Gambar 1 Ground Rod

- Counterpoise wire: kawat horizontal memanjang di atas atau di bawah tanah untuk memperluas permukaan kontak. Pentanahan counterpoise biasanya digunakan apabila resistansi tanah terlalu tinggi dan tidak dapat dikurangi dengan cara pentanahan driven ground, biasanya karena resistivitas tanah terlalu tinggi [17].



Gambar 2 Counterpoise Wire

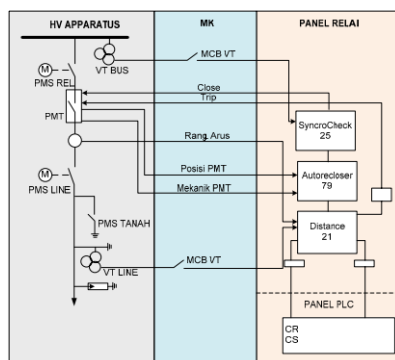
- Ground Mesh adalah cara pentanahan dengan jalan memasang kawat konduktor elektroda membujur dan melintang dibawah tanah, yang satu sama lain dihubungkan disetiap tempat sehingga membentuk jala (mesh/grid).



Gambar 3 Ground Mesh

2.5 Sistem AutoReclose

Autoreclose (AR) merupakan fitur dalam sistem proteksi tenaga listrik yang memungkinkan penyambungan ulang saluran transmisi secara otomatis setelah terjadi gangguan sesaat [18]. Prinsip kerjanya adalah sistem akan membuka sirkuit saat terdeteksi gangguan, lalu secara otomatis menutup kembali setelah waktu tunda tertentu dengan asumsi bahwa gangguan telah hilang. AR sangat efektif untuk menangani gangguan sementara seperti sambaran petir ringan atau kontak dengan benda asing [19].



Gambar 4 Wiring AR

2.6 Metode Multi Direct Grounding (MDG)

Metode Multi Direct Grounding (MDG) adalah pendekatan sistem pembumian modern yang menggunakan beberapa jalur konduktor langsung dari tower ke tanah [17]. Tidak seperti sistem grounding tunggal yang hanya mengandalkan satu titik pentanahan, MDG menyebar titik grounding secara merata di

sepanjang jalur transmisi untuk mempercepat pelepasan arus gangguan.

2.7 Perhitungan Tahanan Elektroda

Tahanan kaki Menara yang rendah dapat diperoleh dengan menggunakan satu atau lebih batang-pentanahan (grounding rod) dan atau sistem counterpoise. Bila menggunakan batang pengetanahan, tahanan kaki menara dihitung dengan menggunakan persamaan [20]:

$$R_A = \frac{\rho}{2\pi L} \left[\ln \left(\frac{2L}{a} \right) - 1 \right]$$

Dimana :

ρ = Tahanan jenis tanah (ohm meter)

L = Panjang elektroda batang (meter)

a = Jari-jari penampang elektroda (meter)

R = Tahanan elektroda ke tanah (ohm)

2.8 Tahanan Jenis Tanah

Nilai resistansi jenis tanah sangat berbeda-beda bergantung pada jenis tanah. Berdasarkan PUIL 2011 [21] tentang Resistansi jenis tanah ditunjukkan pada tabel dibawah ini :

Tabel 2 Nilai Resistivitas tanah

No.	Jenis Tanah	Resistansi Ohm-m
1.	Tanah rawa	30
2.	Tanah liat dan tanah ladang	100
3.	Pasir basah	200
4.	Kerikil basah	500
5.	Pasir dan kerikil kering	1000
6.	Tanah berbatu	2000

2.9 Penelitian yang Berhubungan

Penelitian mengenai sistem pentanahan dan proteksi terhadap gangguan petir telah banyak dilakukan, khususnya dalam konteks peningkatan keandalan sistem transmisi. Salah

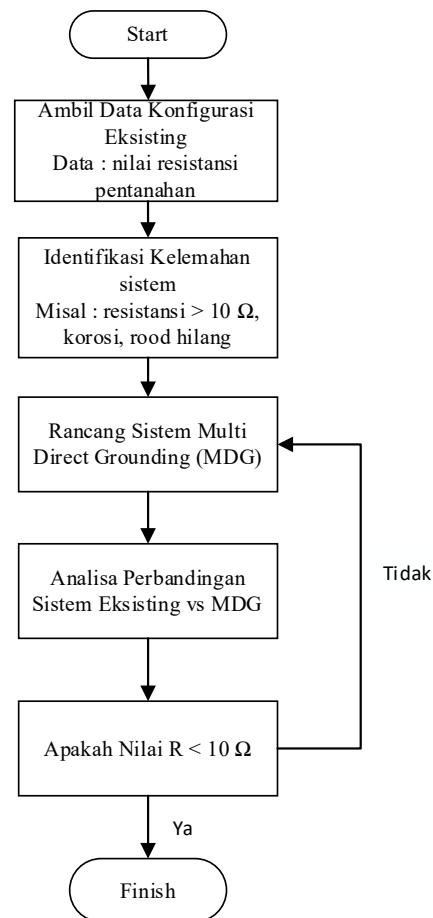
satu studi penting disampaikan oleh R. P. Luntungan dkk [22], yang menganalisis terjadinya backflashover pada tower transmisi akibat resistansi pentanahan yang melebihi ambang batas standar. Studi tersebut menemukan bahwa nilai resistansi sebesar $7,1 \Omega$ pada tower transmisi 70 kV jurusan Tomohon–Teling berdampak langsung terhadap fenomena backflashover, yang terjadi ketika tegangan pada isolator melampaui tegangan kritis lompatan api. Fenomena ini umumnya terjadi karena arus petir yang disalurkan ke tanah tidak mengalir dengan cepat akibat tingginya resistansi pentanahan, sehingga menimbulkan beda potensial berlebih pada sistem isolasi.

Pada penelitian terbaru oleh N. M. Mucharomah [23], membahas pemasangan multirod grounding (mirip konsep MDG) dengan menanam tiga batang elektroda tambahan yang dihubungkan ke setiap kaki tower. Hasilnya menunjukkan penurunan signifikan nilai tahanan pentanahan tower, yang berarti arus petir dapat lebih cepat dan efektif disalurkan ke tanah sehingga mengurangi gangguan akibat petir. Metode ini secara statistik terbukti menurunkan resistansi pentanahan dengan akurasi lebih dari 95%. Penerapan multirod grounding ini sangat relevan sebagai dasar penerapan MDG pada tower SUTET 500 kV, karena prinsipnya sama yaitu menambah jalur grounding langsung di kaki tower untuk mempercepat penyaluran arus petir.

Dalam jurnal IEEE Std 1243-1997 yang berjudul "Guide for Improving Lightning Performance of Transmission Lines" [24] menerangkan bahwa pemilihan jalur transmisi di daerah dataran rendah seperti sungai, cenderung memiliki resistivitas tanah yang rendah sehingga mampu mengalirkan surja petir dengan baik.

3. METODE PENELITIAN

Secara umum, tahapan penelitian dalam perancangan alat ini dapat dilihat pada gambar berikut:



Gambar 5 Tahapan Penelitian

3.1 Studi Literatur

Penelitian ini menggunakan metode campuran (mixed methods), yaitu gabungan pendekatan kuantitatif dan kualitatif. Pendekatan ini dipilih untuk memperoleh hasil analisis yang komprehensif, baik dari sisi teknis (kuantitatif) maupun kontekstual (kualitatif). Dengan demikian, penelitian tidak hanya mengukur performa sistem grounding secara numerik, tetapi juga mempertimbangkan faktor gangguan yang pernah terjadi serta referensi standar teknis yang relevan.

Pendekatan kuantitatif digunakan untuk melakukan analisis teknis terhadap sistem pentanahan (grounding) pada tower transmisi. Data dikumpulkan melalui pengukuran langsung di lapangan, seperti nilai resistansi tanah, impedansi grounding, dan parameter kelistrikan lainnya yang berpengaruh terhadap kemampuan sistem dalam mengalirkan arus gangguan ke tanah.

Pendekatan kualitatif digunakan untuk melengkapi analisis teknis dengan data non-numerik yang bersumber dari:

- Studi literatur (jurnal, standar teknis, buku panduan grounding)
- Data historis gangguan sistem pada jalur transmisi 500 kV New Tambun – Muaratawar, khususnya gangguan gagal reclose akibat sambaran petir.

3.2 Data Penelitian

1. Tempat Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan pada jalur transmisi SUTET 500 kV New Tambun – Muaratawar di bawah pengawasan PLN UPT Pulogadung ULTG Harapan Indah. Jalur ini dipilih karena memiliki riwayat gangguan akibat sambaran petir, khususnya kegagalan sistem autoreclose, dengan titik fokus pengamatan pada tower T.55 hingga T.66. Kondisi ini menjadikannya lokasi yang tepat untuk menguji efektivitas sistem Multi Direct Grounding (MDG) dalam meningkatkan keandalan sistem pentanahan.

2. Data Historis Gangguan

Tanggal Kejadian : 24 Januari 2025

Waktu Gangguan : 16.12 WIB

Lokasi : PENGHANTAR SUTET 500kV
NEW TAMBUN -
MUARATAWAR

Jenis Gangguan : Gagal Reclose

Rincian Gangguan:

A. Sisi GISTET NEW TAMBUN

Peralatan Terdampak:

- CB 7AB2 dan CB 7B2

Status : RECLOSE

Indikasi dari Annunciator :

- AR SUCCESS CB AB & CB B
- RELAY PICK UP PH T
- DISTANCE Z1 TRIP
- DISTANCE AIDED TRIP
- LINE DIFF TRIP
- 21 SEND-RECEIVE

Relai Aktif :

Main A: Pick up PH C, General Trip, Z1 Trip, Distance Send/Receive, Distance Aided Trip,

Trip CB AB & CB PH C, Autoreclose sukses, Fault Location (FL): 28.8 km

B. Sisi GITET MUARATAWAR

Peralatan Terdampak:

- CB 7AB2 dan CB 7B2

Status: CB 7B2 Trip

Indikasi dari Annunciator 7B2:

Main B: Trip C, Diff Trip, FL: 24.5 km

- LINE MAIN A/B PROTECTION TRIP

- CB Pole Discrepancy

- Auto Reclose (AR)

Relai Aktif:

Main A: Pick up PH C, Line Diff Block, COM FAIL, General Trip, Z1 Trip, 85-21 Send

Main B: Trip C, Diff Trip, TP FAIL



Gambar 6 Record Gangguan Vaisala

3. Nilai Pentanahan Eksisting

Pada Tower SUTET 500kV New Tambun – Muaratawar Menggunakan Sistem Pentanahan berupa sistem Ground Mesh. Sistem pentanahan Ground Mesh adalah memasang kawat konduktor elektroda membujur dan melintang dibawah tanah, yang satu sama lain dihubungkan disetiap tempat sehingga membentuk jala untuk mengalirkan arus gangguan atau arus bocor ke bumi [25], Maka Resistansi Total dapat dihitung dengan rumus seperti dibawah ini

$$\frac{1}{R_{total}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + \dots + \frac{1}{R_n}$$

Adapun data pentanahan yang didapat pada beberapa tower SUTET 500kV New Tambun - Muaratawar tersebut.

Tabel 3 data pentanahan SUTET 500kV New Tambun - Muaratawar

No. Tower	Kaki Tower			
	<i>Leg A</i>	<i>Leg B</i>	<i>Leg C</i>	<i>Leg D</i>
Tower 55	0.9Ω	-	0.85Ω	-
Tower 57	0.75Ω	-	0.8Ω	-
Tower 58	0.7Ω	-	0.86Ω	-
Tower 59	0.87Ω	-	1Ω	-
Tower 60	-	0,78 Ω	-	1,25 Ω
Tower 62	-	0,66 Ω	-	0,33 Ω
Tower 63	-	0,67 Ω	-	0,92 Ω
Tower 64	-	13,1 Ω	-	1,18 Ω
Tower 66	-	0,51 Ω	-	-

4. Desain MDG

1. Modifikasi Pentanahan

Modifikasi Pentanahan Tower ke Multi Direct Grounding dapat dilakukan dengan langkah langkah sebagai berikut :

- 1) Menentukan kedalaman elektroda yang ditanam dengan merujuk nilai jenis resistivitas pada tabel 2. Dengan melihat kondisi dilapangan, ditemukan bahwa jenis tanah termasuk kategori tanah lempung, dengan demikian kedalaman/panjang elektroda dapat ditentukan dengan rumus sebagai berikut

$$R_A = \frac{p}{2\pi L} \left[L n \left(\frac{2L}{a} \right) - 1 \right]$$

Dimana :

ρ = Tahanan jenis tanah (ohm meter)

L = Panjang elektroda batang (meter)

a = Jari-jari penampang elektroda
(meter)

R = Tahanan elektroda ke tanah
(ohm)

Diketahui :

$$R = R_{\text{tahanan target}} < 1 \text{ Ohm}$$

$\rho = 2$ (ohm meter) (nilai tengah tengah dari tabel)

$$a = 10 \text{ mm}^2 / 0,00001 \text{ m}^2$$

Untuk mendapatkan $R < 1 \text{ Ohm}$, dapat di hitung dengan menentukan $L = 6 \text{ meter}$.

$$R_A = \frac{2}{2.3,14.6} \left[\ln \left(\frac{2.6}{0.00001} \right) - 1 \right]$$

$$R_A = \frac{2}{2.3.14.6} \left[\ln \left(\frac{2.6}{0.00001} \right) - 1 \right]$$

$$R_A = 0,05. [Ln(1200.000) - 1]$$

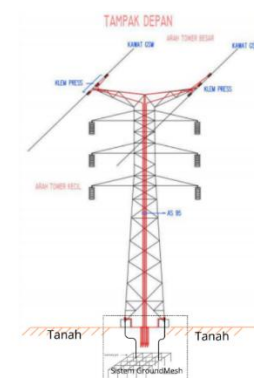
$$R_A = 0,05. [Ln(1.200.000) - 1]$$

$$R_A = 0,05. (13,99 - 1)$$

$$R_A = 0,05. 12.99$$

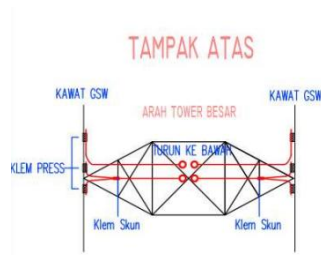
$$R_A = 0,68 \, Ohm$$

- 2) Buat lubang sedalam 6 m sebanyak 4 titik dibawah tapak kaki tower Elektroda Batang sepanjang 6.1 m ditanam vertikal di tengah pusat tower.



Gambar 7 Desain MDG Tampak Depan

- 3) Jarak antar elektroda sekitar 1 - 2 meter dari pusat tower (posisi simetris).



Gambar 8 Desain MDG Tampak Atas

- 4) Tutup lubang yang sudah ditanam elektroda batang.
- 5) Kemudian ukur nilai pentanahan.
- 6) Setiap elektroda dihubungkan ke atas GSW melalui Konduktor.

2. Spesifikasi Teknik

Adapun penjelasan penggunaan spesifikasi material sebagai berikut :

- 1) Jumlah Titik Grounding: 4 titik (A, B, C, D)
- 2) Jenis Elektroda: Batang Tembaga (Copper Rod)
- 3) Diameter Elektroda: 3/4 inch (± 19 mm)
- 4) Panjang Elektroda : 6,2 meter
- 5) Kedalaman Elektroda: 6 meter
- 6) Konduktor AS 95 (Aluminium Steel)

Jenis Tower yang diaplikasikan :

- 1) Konstruksi Tower:
- 2) Tower transmisi setinggi 50 meter
- 3) Tower Piramid
- 4) Double Circuit
- 5) Double GSW

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil Pengukuran Pentanahan MDG

Hasil pengukuran pentanahan setelah dilakukan pemasangan perkuatan grounding dengan menggunakan metode MDG (Multi Direct Grounding) pada 9 tower penghantar SUTET New Tambun – Muaratawar, pada tanggal 17 -26 Februari 2025 diperoleh data sebagai berikut :

Tabel 4 Pengukuran Pentanahan MDG

No. Tower	<u>Titik A</u> (Ω)	<u>Titik B</u> (Ω)	<u>Titik C</u> (Ω)	<u>Titik D</u> (Ω)	<u>R Total</u> (Ω)
55	2,27	2,64	2,7	2,72	0,23
57	1,27	1,01	0,98	1,06	3,24
58	1,37	1,32	1,15	1,2	2,02
59	2,06	2,04	2,62	2,26	0,36
60	2,08	1,49	1,58	1,53	0,89
62	2,08	1,49	1,58	1,53	0,89
63	1,47	1,27	1,7	2,05	1,00
64	1,61	1,42	1,42	1,51	1,22
66	0,59	3,23	0,65	1,51	3,20

(Sumber BA Pemasangan MDG ULTG Harapan Indah NewtambunMuaratawar T.55-T66)

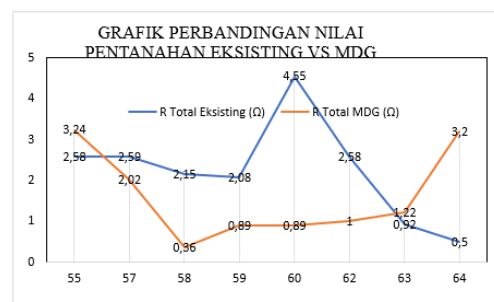
4.2 Hasil Perbandingan Rtotal Existing dengan MDG

Dengan membandingkan data yang diperoleh maka didapat data sebagai berikut :

Tabel 5 Hasil Perbandingan Rtotal Existing dengan MDG

No. Tower	<u>R Total Existing</u> (Ω)	<u>R Total MDG</u> (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

4.3 Analisa Perbandingan Nilai Resistansi Pentanahan Sistem Eksisting dengan MDG



Tabel 6 grafik perbandingan nilai pentanahan Eksisting dengan MDG

Berdasarkan Tabel 5 Grafik yang memperlihatkan nilai resistansi pentanahan dari masing-masing tower baik dalam kondisi eksisting maupun setelah penerapan sistem Multi Direct Grounding (MDG), dapat disimpulkan bahwa mayoritas tower mengalami penurunan nilai resistansi secara signifikan. Penurunan resistansi ini menunjukkan bahwa metode MDG terbukti efektif dalam meningkatkan kualitas sistem pentanahan pada jaringan transmisi. Penurunan resistansi memiliki implikasi penting terhadap performa proteksi sistem, terutama dalam menanggulangi gangguan petir dan meningkatkan keamanan serta keandalan jaringan transmisi.

Dari sembilan tower yang dianalisis (No. 55 hingga No. 66), sebanyak enam tower mengalami penurunan resistansi (ΔR negatif), yang berarti bahwa resistansi pentanahan setelah diterapkannya sistem MDG lebih rendah dibandingkan dengan kondisi eksisting. Penurunan resistansi ini berkisar dari -0,57 Ω hingga -3,66 Ω . Penurunan terbesar terjadi pada Tower 62, dengan ΔR sebesar -3,66 Ω , diikuti oleh Tower 55 (-2,06 Ω) dan Tower 59 (-1,79 Ω). Dalam ketiga kasus ini, sistem MDG mampu menurunkan resistansi lebih dari 80% dari nilai awalnya, yang mengindikasikan keberhasilan implementasi grounding tambahan secara signifikan.

Terdapat tiga tower yang justru mengalami kenaikan resistansi setelah penerapan MDG, yaitu Tower 57, 64, dan 66. Kenaikan nilai resistansi ini dapat dijelaskan oleh beberapa faktor teknis:

1. Kondisi Eksisting Tower 66: Sebelum penerapan MDG, Tower 66 hanya memiliki satu titik pentanahan. Meskipun nilai resistansi meningkat dari 0,50 Ω menjadi 3,20 Ω , distribusi arus melalui empat titik pentanahan yang baru tetap memberikan manfaat dalam hal pemerataan arus ke tanah. Artinya, meskipun resistansi total meningkat, sistem tetap dapat menawarkan proteksi yang lebih baik terhadap gangguan petir karena distribusi arus tidak lagi terkonsentrasi di satu titik.

5. KESIMPULAN

- Efektivitas MDG dalam menurunkan resistansi kemungkinan besar disebabkan oleh peningkatan jumlah jalur aliran arus ke tanah melalui penambahan elektroda pentanahan. Hal ini memungkinkan arus gangguan, terutama akibat sambaran petir, tersebar lebih merata ke berbagai titik dan mengurangi konsentrasi arus di satu titik pentanahan saja. Dengan demikian, risiko tegangan lebih (overvoltage) akibat arus petir dapat ditekan secara efektif.
- Implementasi sistem MDG memperlihatkan bahwa penambahan titik pentanahan pada kaki tower mampu memperluas area disipasi arus gangguan ke tanah, sekaligus mengurangi konsentrasi energi pada satu titik. Hal ini berimplikasi langsung pada peningkatan proteksi sistem dan umur peralatan jaringan transmisi secara keseluruhan.
- Penurunan nilai resistansi pentanahan dapat mengalirkan arus petir lebih cepat dan efektif disalurkan ke tanah sehingga mengurangi gangguan akibat petir.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Universitas Islam Sultan Agung, PT. PLN (Persero) UPT Pulogadung ULTG Harapan Indah, serta semua pihak yang telah memberikan dukungan dan kontribusi dalam penelitian ini. Dukungan dan kerjasama yang diberikan sangat berarti dalam keberhasilan penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Syafriyudin, "Tranmisi Daya Listrik," pp. 1–23, 2016, [Online]. Available: [https://eprints.akprind.ac.id/611/1/TRANSMISI I DAYA LISTRIK.pdf](https://eprints.akprind.ac.id/611/1/TRANSMISI%20DAYA%20LISTRIK.pdf)
- [2] D. Dasweptia, N. P. Wibowo, and H. Widodo, "Analisa Proteksi Auto Recloser pada Sistem 150kV Penghantar Menggala – Gumawang 2 Di Gardu Induk Menggala," *J. Ilm. Tek. Elektro*, vol. 5, no. 1, pp. 41–48, 2022, doi: 10.36269/jtr.v5i1.1243.

- [3] Erhaneli, & Zuriman Anthony, and R. Vandheska, "Analisis Jumlah Gangguan Petir Akibat Back flashover Dengan Metode Hilemen Pada SUTT 150 kV Gardu Induk Payakumbuh-Koto Panjang," *J. Tek. Elektro Inst. Teknol. Padang*, vol. 11, no. 2, pp. 58–63, 2022, [Online]. Available: <https://jte.itp.ac.id/index.php/jte/article/view/712>
- [4] F. Gemilang *et al.*, "Sistem proteksi sambaran petir pada," vol. 11, no. 1, pp. 51–56, 2022.
- [5] B. Oktrialdi and P. Harahap, "Sistem Pentanahan Berdasarkan Perbedaan Lapisan Tanah Untuk Di Aplikasikan Pada Gardu Induk," *Semnastek*, pp. 117–125, 2022.
- [6] Jamaaluddin, I. Anshory, and E. suprayitno Agus, "Penentuan Kedalaman Elektroda pada Tanah Pasir dan Kerikil Kering Untuk Memperoleh Nilai Tahanan Pentanahan yang Baik (Depth Determination of Electrode at Sand and Gravel Dry for Get The Good Of Earth Resistance)," *J. jTE-U*, vol. 1, no. 1, pp. 1–9, 2015.
- [7] H. Dwi Prasetya, U. Latifa, and R. Hidayat, "Identification Damage of PMT 500KV BAY 7A1 Using the Breaker Analyzer and Contact Resistance Methods at the Substation," *IEEE-U (Journal Electr. Electron. Eng.)*, vol. 5, no. 2, pp. 156–164, 2021, doi: 10.21070/jeeu.v5i2.1394.
- [8] R. Syahputra, "Tenaga Listrik," *Transm. Dan Distrib. Tenaga List.*, no. LP3M UMY, Yogyakarta, pp. 249–256, 2016.
- [9] N. H. Utomo, "Perencanaan dan Desain Saluran Transmisi 500 kV Tj. Redeb - Sabah Sehubungan dengan Ekspor Energi Listrik," *Inst. Teknol. Sepuluh Nop.*, 2019.
- [10] I. Electrotechnical, C. Commission, and I. 62305 Internationale, Electrotechnique, "INTERNATIONAL STANDARD," 2024.
- [11] R. Zoro and E. Y. Pramono, "Lightning Performance of Extra High Voltage 500 kV Lines at East Java- Indonesia," *IPTEK J. Technol. Sci.*, vol. 19, no. 4, 2008, doi: 10.12962/j20882033.v19i4.142.
- [12] J. T. A. Gangguan, J. Junaedi, A. Triwiyatno, and S. Sumardi, "Peninjauan Keandalan Sistem Pentanahan Tower SUTT 150 kV," vol. 2, no. 5, pp. 327–333, 2024.
- [13] S. Visacro, F. H. Silveira, M. H. M. Vale, and G. D. Pomar, "Improvement of the lightning performance of transmission lines by combining conventional and non-conventional measures," *Electr. Power Syst. Res.*, vol. 195, no. January, p. 107134, 2021, doi: 10.1016/j.epsr.2021.107134.
- [14] M. A. Malelak and R. Zoro, "Transmission Line in Area with High Grounding Resistance," no. 2, pp. 350–355, 2017.
- [15] H. Firnando, D. Tessel, and A. Manab, "Perancangan Sistem Proteksi Petir Eksternal Di Gedung B Fakultas Sains Dan Teknologi Universitas Jambi," *J. Inform. dan Tek. Elektro Terap.*, vol. 12, no. 3, pp. 2295–2303, 2024, doi: 10.23960/jitet.v12i3.4735.
- [16] A. Pranoto, H. Tumaliang, and G. M. C. Mangindaan, "Analisa Sistem Pentanahan Gardu Induk Teling Dengan Konstruksi Grid (Kisi-kisi)," *J. Tek. Elektro dan Komput.*, vol. 7, no. 3, pp. 189–198, 2018.
- [17] A. Rosyid Idris, W. P. Alfira, I. Razak, and W. Suyono, "Analisis Pengaruh Pemasangan Counterpoise Dan Direct Grounding Pada Tower Transmisi Saluran Udara Tegangan Tinggi 70 Kv Line Mandai-Pangkep," *Semin. Nas. Has. Penelit. dan Pengabd. Kpd. Masy. Politek. Negeri Ujung Pandang*, vol. 109, pp. 109–114, 2021.
- [18] P. P. (PERSERO) P. D. P. P. B. JAWA-BALI, "Pedoman dan Petunjuk Sistem Proteksi Transmisi dan Gardu Induk Jawa Bali Edisi Pertama : September 2013," no. September, p. 513, 2013.
- [19] P. M. Anderson, C. Henville, R. Rifaat, B. Johnson, and S. Meliopoulos, *Power System Protection, Second Edition*. 2021. doi: 10.1002/9781119513100.
- [20] A. M. Dwiky djoemani, Y. A. Koedoes, and S. Tachrir, "Manajemen Perbaikan Nilai Tahanan Pembumian (Studi Kasus Transmisi 150 Kv Bolangi – Maros)," *STABILITA || J. Ilm. Tek. Sipil*, vol. 10, no. 3, p. 124, 2023, doi: 10.55679/jts.v10i3.31248.
- [21] P. U. I. LISTRIK, "Puil 2011," vol. 2011, 2011.
- [22] R. P. Luntungan, L. S. Patras, and G. MCh Mangindaan, "Analisa Daerah Lindung dan Grounding Pada Tower Transmisi Akibat Terjadinya Back Flashover," *J. Tek. Elektro dan Komput.*, vol. 7, no. 3, pp. 199–206, 2018.
- [23] N. M. Mucharomah, A. Nugroho, and S. Sumardi, "Analisis Pemasangan Multirod Grounding Pada Ruas SUTT 70 kV," vol. 2, no. 1, pp. 26–31, 2024.
- [24] D. Committee, *IEEE guide for Improving the lightning performance of Transmission Lines*. 1997.
- [25] T. Taryo, P. N. Utami, and A. Syakur, "ANALISIS FLASHOVER DAN WITHSTAND TEST ISOLATOR SILICONE RUBBER DAN ISOLATOR RESIN EPOKSI SISTEM DISTRIBUSI 20 kV KONDISI KERING DAN BASAH," *J. Inform. dan Tek. Elektro Terap.*, vol. 11, no. 1, pp. 1–6, 2023, doi: 10.23960/jitet.v11i1.2874.