

# Application of DGS (Direct Grounding System) on 150 kV Transmission Tower

Penerapan DGS (*Direct Grounding System*) Pada Tower Transmisi 150 kV

Fikram Asnawi, Hans Tumaliang, Sartje Silimang

Dept. of Electrical Engineering, Sam Ratulangi University Manado, Kampus Bahu St., 95115, Indonesia  
e-mails : fikramasnawi023@student.unsrat.ac.id, hanstumaliang@unsrat.ac.id, sartje.silimang@unsrat.ac.id

Received: [date]; Revised: [date]; Accepted: [date]

**ABSTRACT** – *The increasing demand for electricity requires transmission systems to operate with a high level of reliability, particularly in dealing with lightning disturbances. One critical point in this system is the transmission tower, as evidenced by Tower 35 on the 150 kV Paniki–Tanjung Merah line, which previously experienced a lightning-induced fault. This study aims to evaluate the effectiveness of the Direct Grounding System (DGS) in reducing grounding resistance and minimizing the risk of back flashover. DGS is a direct grounding method designed to channel lightning current into the earth without additional resistance. Measurements were taken before and after the implementation of DGS, comparing grounding resistance values along with touch and step voltages. The results show a significant decrease in resistance from 2.70  $\Omega$  to 0.72  $\Omega$ , placing it well below the regulatory threshold. Additionally, the risk of overvoltage hazards was substantially reduced. These findings confirm that the application of DGS effectively enhances the grounding system's performance and improves transmission line safety, especially in areas prone to lightning disturbances.*

**Keywords:** *Transmission tower, lightning strike, grounding system, Direct Grounding System (DGS), back flashover*

**Abstrak** — Peningkatan kebutuhan listrik menuntut sistem transmisi bekerja dengan tingkat keandalan yang tinggi, terutama dalam menghadapi gangguan akibat sambaran petir. Salah satu titik kritis dalam sistem ini adalah tower transmisi, seperti yang terjadi pada Tower 35 jalur 150 kV Paniki–Tanjung Merah, yang pernah mengalami gangguan karena sambaran petir. Penelitian ini dilakukan untuk mengevaluasi efektivitas metode *Direct Grounding System* dalam menurunkan resistansi pentanahan serta mengurangi risiko terjadinya back flashover. DGS merupakan metode pentanahan langsung yang dirancang agar arus petir dapat segera dialirkan ke tanah tanpa hambatan tambahan. Pengukuran dilakukan sebelum dan sesudah pemasangan DGS dengan membandingkan nilai tahanan pentanahan serta tegangan sentuh dan langkah. Hasil yang diperoleh menunjukkan bahwa setelah penerapan DGS, nilai resistansi pentanahan menurun secara signifikan dari sebelumnya 2,70  $\Omega$  menjadi 0,72  $\Omega$ , sehingga berada di bawah ambang batas standar. Selain itu, risiko bahaya akibat tegangan lebih juga berhasil ditekan. Dengan demikian, penerapan DGS terbukti efektif dalam meningkatkan keandalan sistem pentanahan dan keamanan transmisi listrik, khususnya pada lokasi yang rawan gangguan petir.

**Kata kunci:** Tower transmisi, sambaran petir, sistem pentanahan, *Direct Grounding System (DGS)*, back flashover

## I. PENDAHULUAN

Pentanahan (*Grounding*) adalah suatu cara untuk melindungi sistem terhadap gangguan. Grounding terdiri dari grounding peralatan dan grounding titik netral. Sistem tenaga listrik perlu dilakukan pentanahan untuk melindungi sistem, seperti di saluran transmisi dilakukan untuk melindungi terhadap gangguan petir.

Pada tower 35 transmisi 150 kV *line* Paniki-Tanjung Merah pernah terjadi gangguan sambaran petir yang mengakibatkan melelehnya bagian ujung arching horn pada fasa T. Hal tersebut terjadi karena saat petir menyambar tower tersebut, maka timbulah arus tinggi yang berasal dari sambaran petir. Dikarenakan nilai resistansi pentanahan pada tower tersebut tinggi, maka arus petir yang dikebumikan kembali ke struktur tower, lalu melompat ke konduktor fasa melalui isolator. Dimana pada isolator sisi tower dan sisi penghantar tersebut terpasang *arching horn*. Oleh sebab itu diperlukan suatu metode pentanahan yang dapat mencegah tower tersebut dari gangguan yang berasal dari sambaran petir.

Sebagai bentuk upaya mengatasi permasalahan tersebut, tower 35 yang memiliki peran penting dalam jalur transmisi 150 kV jalur Paniki–Tanjung Merah mulai diterapkan metode *Direct Grounding System*. Dalam sistem ini, konduktor pentanahan dihubungkan langsung ke tanah tanpa hambatan tambahan. Penerapan metode DGS diharapkan mampu meningkatkan performa sistem transmisi serta menekan kemungkinan terjadinya gangguan akibat sambaran petir secara lebih efektif.

### A. Sistem Transmisi

Sistem transmisi merupakan komponen vital dalam infrastruktur tenaga listrik, bertugas mengirimkan energi dari sumber pembangkit ke area konsumen atau beban. Keandalan saluran transmisi berperan penting dalam memastikan efisiensi dan stabilitas jaringan kelistrikan secara keseluruhan. Namun, seringkali saluran transmisi menghadapi tantangan yang berpotensi mempengaruhi kinerja sistem secara signifikan [19].

Saluran-saluran transmisi membawa tenaga listrik dari pusat-pusat pembangkitan ke pusat-pusat beban melalui saluran tegangan tinggi 150 kV atau melalui saluran transmisi tegangan ekstra tinggi 500 kV. Trafo penurunan akan merendahkan tegangan ini menjadi tegangan subtransmisi 70 kV yang kemudian di gardu induk diturunkan lagi menjadi tegangan distribusi primer 20 kV. Pada gardu induk distribusi yang tersebar di pusat-pusat beban tegangan diubah oleh trafo distribusi menjadi tegangan rendah 220/380 V [1].

Saluran transmisi yang menghantarkan energi listrik sudah pasti menghasilkan medan listrik dan juga medan magnet. Semakin besar kapasitas listrik yang dihantarkan, medan listrik serta medan magnetnya juga pasti akan

menjadi semakin besar. Untuk menekan besarnya medan listrik serta medan magnet diperlukan konfigurasi pada fasa, grounding yang baik serta pemilihan komponen komponen yang nantinya akan digunakan pada saluran transmisi tersebut [2].

## B. Gangguan Pada Saluran Transmisi

Gangguan pada jaringan transmisi merupakan kondisi di mana terjadi penyimpangan dari keadaan operasi normal sistem tenaga listrik, yang berdampak pada terhambatnya aliran energi listrik. Kejadian ini tidak hanya berpotensi mengganggu kontinuitas pasokan listrik ke pelanggan, tetapi juga dapat menimbulkan kerusakan pada peralatan kelistrikan yang terhubung dalam sistem [5].

Faktor-faktor yang menyebabkan terjadinya gangguan pada sistem transmisi tegangan tinggi adalah: surja petir atau surja hubung, burung atau daun-daun, pohon-pohon yang tumbuh dekat saluran transmisi, polusi (Debu) dan retak-retak pada isolator

### a). Gangguan Petir pada Saluran Transmisi

Petir merupakan fenomena alam yang terjadi akibat perpindahan muatan listrik antara dua awan yang memiliki perbedaan muatan, atau antara awan dengan permukaan bumi [12].

Gangguan petir pada sistem transmisi merupakan permasalahan yang timbul akibat sambaran petir, baik secara langsung mengenai jaringan transmisi maupun secara tidak langsung melalui induksi. Gangguan ini dapat menghambat kinerja saluran transmisi dalam menyalurkan energi listrik secara optimal [17]. Terdapat tiga jenis sambaran petir terhadap saluran transmisi, yaitu Sambaran langsung pada kawat konduktor, Sambaran pada menara transmisi, dan Sambaran pada kawat tanah.

### b). *Flashover*

*Flashover* merupakan peristiwa pelepasan muatan listrik yang bersifat merusak dan terjadi di sepanjang permukaan isolator. Kejadian ini disebabkan oleh medan listrik yang terbentuk pada permukaan isolator melebihi batas kemampuan isolasi listriknya. Beberapa faktor yang dapat memicu terjadinya *flashover* antara lain adalah adanya kotoran pada permukaan isolator, paparan hujan asam, serta gangguan tegangan lebih akibat surja hubung maupun sambaran petir.

### c). *Back Flashover*

*Back flashover* merupakan gangguan yang terjadi ketika petir menyambar kawat pelindung (shield wire) yang terpasang di puncak menara transmisi. Tegangan tinggi akibat sambaran tersebut akan mengalir melalui kawat tanah menuju sistem pentanahan di dasar menara. Namun, apabila tahanan tanah melebihi batas standar yang telah ditentukan, maka *flashover* dapat terjadi dan menimbulkan gangguan pada sistem transmisi. Oleh karena itu, setiap menara transmisi umumnya dilengkapi dengan kawat tanah atau elektroda penangkal petir serta sistem pentanahan yang dirancang dengan baik untuk meminimalkan risiko tersebut.

Apabila keadaan grounding melebihi batas nilai standar yang di tetapkan yaitu kurang dari 10  $\Omega$  maka *flashover* akan muncul, peristiwa ini disebut *back flashover*. Jika peristiwa ini terjadi akan mengakibatkan gangguan pada sistem transmisi seperti Gangguan Beban Lebih, Gangguan Hubung Singkat (*Short Circuit*),

Gangguan Tegangan Lebih, Gangguan kurangnya daya, dan gangguan ketidakstabilan (*instability*).

## C. Peralatan Proteksi Pada Saluran Transmisi

Peralatan proteksi pada Saluran Udara Tegangan Tinggi (SUTT) maupun Saluran Udara Tegangan Ekstra Tinggi (SUTET) berfungsi untuk melindungi instalasi dari berbagai potensi gangguan. Perlindungan ini mencakup bahaya sambaran petir, tekanan atau getaran mekanis akibat hembusan angin, risiko gangguan yang disebabkan oleh aktivitas manusia, serta ancaman eksternal seperti tabrakan dengan pesawat udara atau aktivitas terjun payung. Selain itu, sistem proteksi ini juga dirancang untuk mencegah kerusakan akibat terputusnya konduktor.

## D. Sistem Pentanahan

Sistem pentanahan adalah metode pengamanan kelistrikan yang menghubungkan bagian logam dari peralatan dan instalasi tenaga listrik ke tanah. Tujuan utamanya adalah memastikan arus gangguan atau kebocoran mengalir langsung ke bumi, sehingga mengurangi risiko sengatan listrik dan melindungi peralatan dari kerusakan akibat lonjakan tegangan. Dengan adanya pentanahan yang baik, kestabilan sistem distribusi juga terjaga, dan potensi tegangan berbahaya pada peralatan dapat ditekan seminimal mungkin.

Ada beberapa sistem pentanahan yaitu:

### 1) Sistem *Driven Rod*

*Driven rod* adalah metode pentanahan yang paling sederhana dan banyak digunakan di berbagai aplikasi sistem tenaga listrik. Metode ini menggunakan batang elektroda logam (biasanya tembaga atau baja berlapis tembaga) yang ditanam secara vertikal ke dalam tanah.

Untuk menghitung batang tunggal bisa menggunakan persamaan sebagai berikut:

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

Keterangan:

$R$  = tahanan pentanahan (Ohm)

$\rho$  = resistivitas tahanan (Ohm-meter)

$L$  = panjang batang (meter)

$d$  = Diameter elektroda batang (meter)

Batang pentanahan dapat dipararel untuk mengurangi nilai tahanan tower. Penggunaan batang pararel rumus diatas tetap dapat digunakan untuk menghitung nilai pentanahan, bila variabel  $d$  diubah menjadi  $A$ . Penempatan pentanahan adalah sebagai berikut :

➤ Secara sembarang untuk dua batang :

$$A = \sqrt{(ar)} \quad (2)$$

➤ Membentuk segitiga untuk tiga batang :

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

➤ Membentuk segiempat untuk empat

$$\text{batang : } A = \sqrt[4]{2a^2 \cdot a^2} \quad (4)$$

Dimana :

$a$  : Jarak antar elektroda

$r$  : Jari-jari elektroda

2) Sistem Pentanahan dengan *Counterpoise*  
Sistem pentanahan *counterpoise* adalah metode pembumian yang menggunakan kawat konduktor horizontal yang ditanam di bawah permukaan tanah, umumnya pada kedalaman 30 hingga 90 cm. Kawat ini dibentangkan secara radial atau memanjang dari struktur utama, seperti kaki tower transmisi, gardu induk, atau fasilitas kelistrikan lainnya

Untuk menghitung nilai tahanan dengan satu elektroda atau kawat counterpoise dapat dilakukan menggunakan persamaan berikut:

$$R_c = \frac{\rho}{2\pi L} \left( \ln \frac{2L}{a} + \ln \frac{2L}{s} - 2 + \frac{s}{L} \right) \quad (5)$$

Keterangan:

$R_c$  = tahanan pentanahan conterpoise (Ohm)

$\rho$  = resistivitas tanah (Ohm-meter)

$L$  = panjang elektroda (meter)

$a$  = jari-jari elektroda (meter)

$s$  = Dalam penanaman (meter)

Perhitungan untuk dua elektroda atau kawat counterpoise dapat dilakukan menggunakan persamaan berikut :

$$R_c = \frac{\rho}{4\pi L} \left( \ln \frac{4L}{a} + \ln \frac{4L}{s} - 2 + \frac{s}{2L} - \frac{s^2}{16L^2} + \frac{s^4}{512L^4} \right) \quad (6)$$

3) Pentanahan dengan *mesh/grid*

Sistem pentanahan *mesh* atau *grid* merupakan metode pentanahan yang dirancang dengan menanam jaringan konduktor horizontal di bawah permukaan tanah sehingga membentuk pola kisi (*grid*). Konduktor-konduktor ini saling terhubung dan membentuk persegi atau persegi panjang, menutupi area tertentu di bawah peralatan listrik seperti gardu induk, stasiun pembangkit, atau instalasi penting lainnya.

Untuk menghitung nilai tahanan dengan grid dapat dilihat pada persamaan berikut :

$$R_g = \frac{\rho}{4\sqrt{A}} \left[ \frac{1}{1 + \frac{h}{\sqrt{A}}} \right] \quad (7)$$

Keterangan :

$R_g$  = Tahanan grid (Ohm)

$\rho$  = Tahanan jenis tanah ( $\Omega \cdot m$ )

$A$  = Luas area grid ( $m^2$ )

$h$  = Kedalaman penguburan konduktor (m)

a). Standar Nilai Pentanahan

Standar nilai pentanahan adalah acuan batas maksimum tahanan pembumian yang ditetapkan untuk menjamin keselamatan manusia, perlindungan peralatan, dan keandalan sistem tenaga listrik.

Tegangan Operasi	Standar
70 kV	$\leq 5 \text{ Ohm}$
150 kV	$\leq 10 \text{ Ohm}$
275kV / 500 kV	$\leq 15 \text{ Ohm}$

Sumber: KEPDIR No.0520/I. K DIR / 2014

b). Nilai Tahanan Jenis Tanah

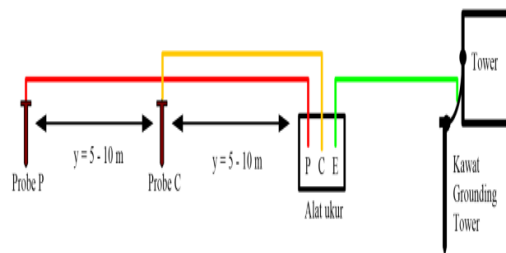
Tahanan jenis tanah adalah ukuran kemampuan tanah dalam menghantarkan arus listrik. Nilai tahanan jenis ini dinyatakan dalam satuan ohm-meter ( $\Omega \cdot m$ ).

TABEL II  
NILAI TAHANAN JENIS TANAH

No	Jenis Tanah	Rentang Resistivitas ( $\Omega \cdot m$ )
1	Tanah gambut basah	20 – 50
2	Tanah humus	30 – 100
3	Tanah berpasir lembab	50 – 200
4	Tanah berpasir kering	1.000 – 5.000
5	Tanah berbatu/batu lunak	500 – 3.000
6	Tanah kapur	100 – 1.000
7	Tanah gunung berbatu keras	$>5.000$



Gambar 1. Alat Pengujian Resistansi Pentanahan Tower (*Earth tester Kyoritsu 4105A*)



Gambar 2. Pengujian Resistansi Pentanahan Tower

E. Jenis Metode Perbaikan Pentanahan Tower SUTT/SUTET

1) Metode I-GRASS

I-GRASS merupakan Metode Perbaikan Resistansi Kaki Tower dan Induktansi Tower. Implementasi I-GRASS menggunakan konduktor dengan isolasi (A3CS) ditarik dari sisi Cold (ujung travers) melalui sisi dalam bagian tower sampai ke Grounding baru, kemudian grounding baru di couple dengan kaki.

2) Metode MRG

MRG (Multi Rood Grounding) merupakan salah satu metode perbaikan resistansi Kaki Tower. Implementasi MRG dengan penambahan Grounding pada kaki tower minimal 3 titik untuk masing - masing kaki tower, namun tidak merubah kekuatan konstruksi tower

3) DGS (*Direct Grounding System*)

Proteksi Petir menggunakan Konduktor penghubung yang berfungsi sebagai media berjalannya surja petir dengan nilai induktansi yang lebih rendah daripada induktansi tower agar arus petir yang menyambar kawat GSW/ OPGW maupun tower SUTT/ SUTET dapat langsung disalurkan ke tanah.

4) MGGS (Mesh Grid Grounding System)

MGGS adalah Metode yang memperkecil dan menambah titik buang pentanahan melalui pemasangan multi rod yang saling terhubung (mesh).

#### F. Pengujian Resistansi Pentanahan Tower

Nilai pentanahan tower harus dibuat sekecil mungkin agar tidak menimbulkan tegangan tower yang tinggi yang pada akhirnya dapat mengganggu sistem penyaluran.

Melakukan perhitungan pentanahan total berdasarkan pengukuran pentanahan pada masing-masing ke empat kaki tower, dengan rumus sebagai berikut:

$$\frac{1}{R_p} = \frac{1}{R_a} + \frac{1}{R_b} + \frac{1}{R_c} + \frac{1}{R_d} \quad (8)$$

Keterangan :

R<sub>p</sub> = Nilai resistansi kaki tower

R<sub>a</sub> = Hasil ukur resistansi kaki A

R<sub>b</sub> = Hasil ukur resistansi kaki B

R<sub>c</sub> = Hasil ukur resistansi kaki C

R<sub>d</sub> = Hasil ukur resistansi kaki D

#### G. Perhitungan Tegangan Sentuh dan Tegangan Langkah

Sebelum melakukan perhitungan tegangan sentuh dan tegangan langkah, terlebih dahulu perlu dihitung tegangan pada titik pentanahan tower dengan menggunakan persamaan berikut :

$$V_g = I_f \times R_g \quad (9)$$

Keterangan :

V<sub>g</sub> : Tegangan di atas permukaan tanah tepat di titik grounding (V)

I<sub>f</sub> : Arus gangguan ke tanah (kA)

R<sub>g</sub> : Resistansi grounding tower (Ω)

##### 1). Tegangan Sentuh (*Touch Voltage*)

Tegangan sentuh (*touch voltage*) merupakan beda potensial listrik antara permukaan tanah tempat seseorang berpijak dan bagian logam yang bersifat konduktif yang sedang disentuh, seperti struktur menara atau peralatan listrik yang terhubung ke sistem pentanahan. Saat terjadi gangguan tanah, misalnya sambaran petir mengenai tower transmisi, arus gangguan akan mengalir menuju tanah melalui jalur grounding. Hal ini menyebabkan area pentanahan pada menara dapat memiliki tegangan yang jauh lebih tinggi dibandingkan tanah di sekitarnya. Apabila seseorang berdiri di tanah dan menyentuh bagian logam dari menara tersebut, maka perbedaan tegangan antara tangan dan kaki dapat memicu aliran arus listrik melalui tubuh, yang berpotensi mengakibatkan sengatan listrik berbahaya.

Untuk menghitung tegangan sentuh digunakan persamaan berikut :

$$V_{touch} = V_g \times K_t \quad (10)$$

K<sub>t</sub> : Faktor distribusi tegangan (biasanya 0.5 – 0.8 tergantung model dan posisi)

Secara konservatif, gunakan :

$$V_{touch} = 0.75 \times V_g \quad (11)$$

##### 2). Tegangan Langkah (*Step Voltage*)

Tegangan langkah (*Step Voltage*) adalah beda potensial listrik antara dua titik pada permukaan tanah yang terpisah oleh jarak langkah kaki manusia (umumnya sekitar 1 meter), ketika arus gangguan tanah (*ground fault current*) mengalir ke sistem pentanahan akibat gangguan seperti sambaran petir atau hubung singkat. Tegangan ini menjadi berbahaya bagi manusia atau hewan yang sedang

berjalan di sekitar area pentanahan saat terjadi gangguan, karena arus dapat mengalir melalui tubuh dari satu kaki ke kaki lainnya, berpotensi menyebabkan sengatan listrik serius atau fatal.

Untuk menghitung tegangan langkah digunakan persamaan berikut:

$$V_{step} = V_g \times K_s \quad (12)$$

K<sub>s</sub> : faktor distribusi tegangan untuk langkah (biasanya 0.2 – 0.5)

Gunakan pendekatan konservatif :

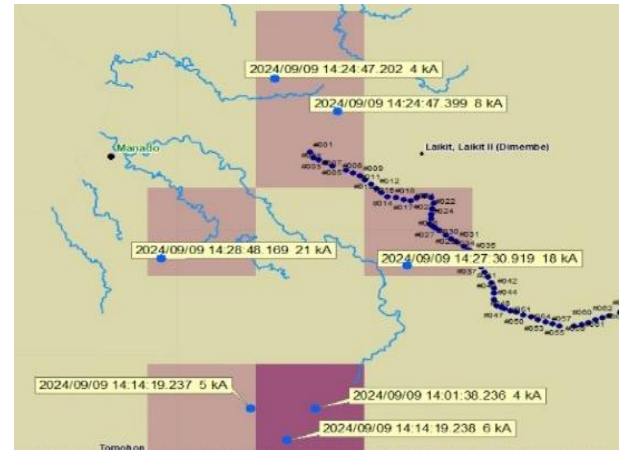
$$V_{step} = 0.5 \times V_g \quad (13)$$

## II. METODE

Penelitian ini dilaksanakan pada aset milik PT PLN (Persero) ULTG Sawangan, yaitu Saluran Udara Tegangan Tinggi 150 kV jalur Paniki–Tanjung Merah, tepatnya di Tower 35 yang terletak di Desa Airmadidi Atas, Kecamatan Airmadidi, Kabupaten Minahasa Utara.

#### A. Data Penelitian

Pada tanggal 9 September 2024 pukul 14.27.30 WITA, terjadi gangguan akibat sambaran petir pada Tower 35 jalur transmisi Paniki–Tanjung Merah. Kekuatan arus petir yang tercatat mencapai 18 kA dengan durasi sekitar 1 detik.



Gambar 3. Sambaran petir

TABEL III  
DATA GANGGUAN TOWER 35 LINE 1

F	Arus (A)		Tegangan (V)		Jenis Gangguan	
	Sebelum Gangguan	Saat Gangguan	Sebelum Gangguan	Saat Gangguan		
R	156.769	177.8	181.537 194.0°	85507.831 360.1°	72502.931 5.7°	Petir
S	157.361	59.2°	135.071 59.4°	86008.045 239.8°	72456.081 230.0°	
T	161.060	296.2	2654.156 44.3°	85755.131 119.6°	23298.369 103.9°	
N	5.878	215.8°	2630.774 47.1°	-	-	



- 9 September 2024

Diketahui :

$$R_a = 6,11 \Omega$$

$$R_b = 11,21 \Omega$$

$$R_c = 14,72 \Omega$$

$$R_d = 18,10 \Omega$$

Maka diperoleh nilai total tahanan kaki tower :

$$\frac{1}{R_p} = \frac{1}{R_a} + \frac{1}{R_b} + \frac{1}{R_c} + \frac{1}{R_d}$$

$$\frac{1}{R_p} = \frac{1}{6,11} + \frac{1}{11,21} + \frac{1}{14,72} + \frac{1}{18,10}$$

$$= 0,37$$

$$R_p = \frac{1}{0,37} = 2,70 \Omega$$

- 3 Februari 2025

Diketahui :

$$R_a = 2,86 \Omega$$

$$R_b = 2,85 \Omega$$

$$R_c = 2,87 \Omega$$

$$R_d = 2,98 \Omega$$

Maka diperoleh nilai total tahanan kaki tower :

$$\frac{1}{R_p} = \frac{1}{R_a} + \frac{1}{R_b} + \frac{1}{R_c} + \frac{1}{R_d}$$

$$\frac{1}{R_p} = \frac{1}{2,86} + \frac{1}{2,85} + \frac{1}{2,87} + \frac{1}{2,98}$$

$$= 1,38$$

$$R_p = \frac{1}{1,38} = 0,72 \Omega$$

## 2. Perhitungan Nilai Tahanan Pentanahan

### 1) Driven Rod

- Elektroda tunggal

Untuk menghitung batang tunggal dapat dilakukan menggunakan persamaan (1) :

Diketahui :

$$p = 100 \Omega \cdot m$$

$$L = 3 \text{ m}$$

$$d = 10 \text{ mm} = 0,01 \text{ m}$$

$$\pi = 3,14$$

maka diperoleh nilai untuk batang tunggal :

$$R = \frac{p}{2\pi L} \left( \ln \frac{2L}{d} \right)$$

$$R = \frac{100}{2 \times 3,14 \times 3} \left( \ln \frac{4 \times 3}{0,01} \right)$$

$$= 5,30 \times 7,09$$

$$= 37,58 \Omega$$

- Dua batang elektroda

Perhitungan untuk dua batang elektroda dapat dilakukan menggunakan persamaan (2) :

Diketahui :

$$p = 100 \Omega \cdot m$$

$$L = 3 \text{ m}$$

$$a = 0,5 \text{ m}$$

$$d = 10 \text{ mm} = 0,01 \text{ m}$$

$$r = \frac{1}{2} d = 0,005 \text{ m}$$

maka diperoleh nilai untuk dua batang :

$$R = \frac{p}{2\pi L} \left( \ln \frac{2L}{\sqrt{ar}} \right)$$

$$R = \frac{100}{2 \times 3,14 \times 3} \left( \ln \frac{2 \times 3}{\sqrt{0,5 \times 0,005}} \right)$$

$$= 5,30 \times 4,78$$

$$= 25,33 \Omega$$

### 2) Counterpoise

- Satu elektroda

Untuk menghitung nilai tahanan satu elektroda counterpoise dapat dihitung dengan menggunakan persamaan (5) :

Diketahui :

$$p = 100 \Omega \cdot m$$

$$L = 3 \text{ m}$$

$$a = r = 0,005 \text{ m}$$

$$s = 0,5 \text{ m}$$

maka diperoleh :

$$R_c = \frac{p}{2\pi L} \left( \ln \frac{2L}{a} + \ln \frac{2L}{s} - 2 + \frac{s}{L} \right)$$

$$R_c = \frac{100}{2 \times 3,14 \times 3} \left( \ln \frac{2 \times 3}{0,005} + \ln \frac{2 \times 3}{0,5} - 2 + \frac{0,5}{3} \right)$$

$$= 5,30 \times 7,73$$

$$= 40,97 \Omega$$

- Dua elektroda

Untuk menghitung nilai tahanan satu elektroda counterpoise dapat dihitung dengan menggunakan persamaan (6) :

Diketahui :

$$p = 100 \Omega \cdot m$$

$$L = 3 \text{ m}$$

$$a = r = 0,005 \text{ m}$$

$$s = 0,5 \text{ m}$$

maka diperoleh :

$$R_c = \frac{p}{4\pi L} \left( \ln \frac{4L}{a} + \ln \frac{4L}{s} - 2 + \frac{s}{2L} - \frac{s^2}{16L^2} + \frac{s^4}{512L^4} \right)$$

$$R_c = \frac{100}{4 \times 3,14 \times 3} \left( \ln \frac{4 \times 3}{0,005} + \ln \frac{4 \times 3}{0,5} - 2 + \frac{0,5}{2 \times 3} - \frac{3^2}{16 \times 3^2} + \frac{0,5}{512 \times 3^4} \right)$$

$$= 2,65 \times 10,53$$

$$= 27,90 \Omega$$

### 3) Mesh/Grid

Untuk menghitung nilai tahanan dengan grid dapat dilakukan menggunakan persamaan (7) :

Diketahui :

$$p : 100 \Omega \cdot m$$

$$A : 100 \text{ m}^2$$

$$h : 0,5 \text{ m}$$

maka diperoleh :

$$R_g = \frac{p}{4\sqrt{A}} \left[ \frac{1}{1 + \frac{h}{\sqrt{A}}} \right]$$

$$R_g = \frac{100}{4\sqrt{100}} \left[ \frac{1}{1 + \frac{0,5}{\sqrt{100}}} \right]$$

$$= 2,5 \times 0,95$$

$$= 2,37 \Omega$$

3. Perhitungan Tegangan Sentuh dan Tegangan Langkah  
Sebelum melakukan perhitungan tegangan sentuh dan tegangan langkah, terlebih dahulu perlu dihitung tegangan pada titik pentanahan tower dengan menggunakan persamaan (9) :

Diketahui :

$$I_f = 18 \text{ kA} = 18.000 \text{ A}$$

$$R_g = 2,70 \Omega$$

Maka diperoleh nilai  $V_g$  yaitu :

$$\begin{aligned} V_g &= I_f \times R_g \\ V_g &= 18.000 \times 2,70 \\ &= 48.600 \text{ V} \end{aligned}$$

- Tegangan sentuh (*touch voltage*)  
Perhitungan tegangan sentuh dilakukan berdasarkan persamaan (11), di mana nilai  $V_g$  telah diketahui sebelumnya yaitu 48.600 V.

Maka diperoleh tegangan sentuh :

$$\begin{aligned} V_{touch} &= 0,75 \times V_g \\ V_{touch} &= 0,75 \times 48.600 \\ &= 36.450 \text{ V} \end{aligned}$$

- Tegangan Langkah (*Step Voltage*)  
Perhitungan tegangan langkah dilakukan berdasarkan persamaan (13), di mana nilai  $V_g$  telah diketahui sebelumnya yaitu 48.600 V.

Maka diperoleh tegang langkah :

$$\begin{aligned} V_{step} &= 0,5 \times V_g \\ V_{step} &= 0,5 \times 48.600 \\ &= 24.300 \text{ V} \end{aligned}$$

### III. HASIL DAN ANALISA

#### A. Analisa Sistem Grounding Eksisting pada Tower 35

Tower 35 pada jalur transmisi 150 kV Paniki–Tanjung Merah pernah mengalami gangguan akibat sambaran petir yang merusak isolator, terutama pada bagian arching horn fasa T. Gangguan ini disebabkan oleh tingginya nilai tahanan pentanahan, yang menghambat aliran arus petir ke tanah dan memicu peristiwa back flashover. Berdasarkan KEPDIR No.0520/1.K/DIR/2014, nilai maksimum tahanan pentanahan untuk sistem transmisi 150 kV adalah  $\leq 10 \text{ Ohm}$ . Namun, data pengukuran dari tahun 2023 hingga awal 2025 menunjukkan adanya fluktuasi nilai resistansi yang cukup tinggi, seperti tercatat pada tanggal 2 Juli dan 9 September 2024, di mana kaki D menunjukkan nilai hingga 18,10 Ohm. Nilai ini jelas melampaui ambang batas yang ditetapkan, sehingga berpotensi membahayakan peralatan dan keselamatan di sekitar tower. Kondisi tersebut menandakan perlunya perbaikan serta pemantauan rutin terhadap sistem pentanahan agar arus petir dapat langsung dialirkan ke tanah secara efektif dan aman..

#### B. Analisa Gangguan pada Tower 35

Gangguan tersebut menunjukkan karakteristik sebagai berikut:

- Arus sambaran petir: 18 kA
- Durasi sambaran: sekitar 1 detik
- Tegangan fasa T sebelum gangguan: 85.755,131 V
- Tegangan fasa T saat gangguan: 23.298,369 V
- Arus fasa T sebelum gangguan: 161,060 A
- Arus fasa T saat gangguan: 2.654,156 A

TABEL VIII  
HASIL PERHITUNGAN NILAI TOTAL TAHANAN KAKI TOWER

Waktu Pengukuran	Nilai
13 Desember 2023	0,33 $\Omega$
22 Januari 2024	0,75 $\Omega$
2 Juli 2024	1,63 $\Omega$
9 September 2024 (Saat Gangguan)	2,70 $\Omega$
3 Februari 2025 (Setelah Pemasangan DGS)	0,72 $\Omega$

TABEL IX  
HASIL PERHITUNGAN SISTEM PENTANAHAN

Metode Pentanahan	Nilai	
Driven Rod	Batang Tunggal	37,58 $\Omega$
	Dua Batang	25,33 $\Omega$
Counterpoise	Elektroda Tunggal	40,97 $\Omega$
	Dua Elektroda	27,90 $\Omega$
Mesh/Grid		2,37 $\Omega$

Perbedaan mencolok antara kondisi sebelum dan saat gangguan pada fasa T menunjukkan adanya pelepasan energi besar akibat sambaran petir, yang kemungkinan dipicu oleh peningkatan tegangan pada struktur tower serta resistansi pentanahan yang belum memadai. Fenomena ini dikenal sebagai back flashover, yaitu loncatan tegangan dari tower ke konduktor karena sistem grounding tidak mampu membuang arus petir secara efisien ke tanah. Ketidakefisienan ini menyebabkan akumulasi tegangan pada struktur tower, yang dalam kondisi ideal seharusnya dapat dicegah oleh sistem pentanahan dengan resistansi rendah, agar tegangan induksi tetap terkendali dan tidak mengganggu kinerja isolasi jaringan transmisi.

#### C. Hasil Perhitungan Nilai Total Tahanan Kaki Tower

Berdasarkan tabel 8, terlihat bahwa nilai total tahanan kaki tower mengalami penurunan signifikan setelah penerapan sistem DGS. Hal ini menunjukkan bahwa metode DGS berhasil meningkatkan efektivitas sistem pentanahan dan berkontribusi dalam mengurangi risiko gangguan akibat sambaran petir.

#### D. Hasil Perhitungan Sistem Pentanahan

Berdasarkan tabel 9, dapat dilihat bahwa sistem grid memberikan hasil yang paling rendah dibandingkan sistem *driven rod* atau *counterpoise*, namun sistem ini memerlukan biaya dan instalasi yang lebih kompleks. Untuk kebutuhan tower transmisi, penerapan DGS dengan sistem pentanahan *driven rod* sudah cukup efektif, terbukti dari hasil pengukuran aktual.

#### E. Hasil Perhitungan Tegangan Sentuh dan Tegangan Langkah

Setelah diketahui bahwa arus gangguan dari sambaran petir mencapai 18 kA dan resistansi total tower pada saat gangguan (9 September 2024) adalah 2,70  $\Omega$ , maka tegangan pada titik grounding dapat dihitung sebagai berikut:

- Tegangan total:  $V_g = I \times R = 18.000 \text{ A} \times 2,70 \Omega = 48.600 \text{ V}$
- Tegangan sentuh:  $0,75 \times 48.600 = 36.450 \text{ V}$
- Tegangan langkah:  $0,50 \times 48.600 = 24.300 \text{ V}$

Nilai-nilai ini menunjukkan bahwa baik tegangan sentuh maupun tegangan langkah berada jauh di atas batas ambang aman sesuai standar (IEEE Std 80-2000), dimana

batas maksimum tegangan sentuh aman umumnya berada di kisaran 50 hingga 100 V untuk manusia dewasa selama waktu paparan 1 detik.

#### F. Evaluasi Penerapan Direct Grounding System (DGS) pada Tower 35

Untuk mengatasi tingginya nilai tahanan pentanahan pada Tower 35, diterapkan metode *Direct Grounding System* (DGS), yaitu sistem pentanahan langsung yang memungkinkan arus gangguan, khususnya akibat sambaran petir, dialirkan ke tanah secara cepat dan tanpa hambatan tambahan. Hasil pengukuran pada 3 Februari 2025 menunjukkan bahwa setelah pemasangan DGS, nilai resistansi rata-rata pada keempat kaki tower menurun signifikan menjadi 0,72  $\Omega$ , jauh di bawah batas maksimum 10  $\Omega$  sebagaimana tercantum dalam standar sistem transmisi 150 kV (KEPDIR No.0520/1.K/DIR/2014). Sebelumnya, nilai resistansi mengalami fluktuasi dan kerap melebihi ambang batas, meningkatkan risiko gangguan seperti back flashover akibat arus petir yang tidak tersalurkan dengan baik. Dengan adanya DGS, arus gangguan kini memiliki jalur yang lebih langsung dan efisien menuju tanah, sehingga mengurangi potensi bahaya secara signifikan. Penurunan resistansi ini menunjukkan bahwa sistem grounding pada Tower 35 telah berfungsi lebih optimal, baik dari segi teknis maupun keselamatan operasional, serta mampu meningkatkan keandalan instalasi dalam menghadapi gangguan dari sambaran petir..

#### IV. KESIMPULAN DAN SARAN

Penerapan *Direct Grounding System* (DGS) pada Tower 35 jalur transmisi 150 kV Paniki–Tanjung Merah menggunakan elektroda tembaga (*driven rod*) dan konduktor tipe AAACS berhasil menurunkan nilai tahanan pentanahan secara signifikan hingga rata-rata 0,72  $\Omega$ , jauh di bawah ambang batas 10  $\Omega$  sesuai standar KEPDIR No.0520/1.K/DIR/2014. Kondisi ini tidak hanya memenuhi standar keselamatan dan efisiensi sistem transmisi, tetapi juga terbukti efektif dalam menekan risiko back flashover serta gangguan akibat petir. Sebelum pemasangan, tingginya nilai tahanan menyebabkan tegangan sentuh dan langkah mencapai angka berbahaya, yaitu 36.450 V dan 24.300 V. Setelah sistem DGS diimplementasikan, resistansi grounding menurun drastis, sehingga arus petir dapat dialirkan ke tanah secara optimal dan keandalan sistem transmisi pun meningkat.

Penelitian ini merekomendasikan pemantauan rutin nilai tahanan pentanahan serta penerapan sistem DGS sebagai standar pada tower di wilayah rawan petir dengan resistansi yang kurang stabil untuk menjaga keandalan sistem.

#### V. KUTIPAN

- [1] D. Aribowo and D. Desmira, "Analisis Kerugian Daya pada Saluran Transmisi Tegangan Ekstra Tinggi 500 kV Unit Pelayanan Transmisi Cilegon Baru-Cibinong," *VOLT: Jurnal Ilmiah Pendidikan Teknik Elektro*, vol. 1, no. 1, pp. 29–36, 2016.
- [2] R. D. Begamudre, *Extra High Voltage AC Transmission Engineering*, New Delhi: New Age International, 2006.
- [3] Direktorat Jenderal Ketenagalistrikan, *SPLN 41-1: Standar Pentanahan Sistem Tenaga Listrik*, Jakarta: PLN, 2016.
- [4] H. B. Dwight, "Calculation of Resistance to Ground," *AIEE Transactions*, vol. 55, pp. 1319–1328, 1936.

- [5] M. Handayani and M. J. JP, "Analisa Gangguan Penghantar Berdasarkan Data Rekaman Relai Distance dan Rekaman DFR Bay Penghantar KSRAN-SMKEI 1 di PT PLN (Persero) Unit Layanan Transmisi dan Gardu Induk Kisaran," *Jurnal Ilmiah Tenaga Listrik*, vol. 2, no. 1, pp. 1–8, 2022.
- [6] IEEE, *IEEE Std 399-1997: Recommended Practice for Industrial and Commercial Power Systems Analysis*, 1997.
- [7] IEEE, *IEEE Std 81-2012: Guide for Measuring Earth Resistivity, Ground Impedance, and Earth Surface Potentials of a Grounding System*, 2012.
- [8] IEEE, *IEEE Std 80-2000: IEEE Guide for Safety in AC Substation Grounding*, 2000.
- [9] IEEE, *IEEE Std 80-2013: IEEE Guide for Safety in AC Substation Grounding*, 2013.
- [10] P. Kundur, *Power System Stability and Control*, New York: McGraw-Hill, 1994.
- [11] J. Machowski, J. W. Bialek, and J. R. Bumby, *Power System Dynamics: Stability and Control*, 3rd ed., Hoboken: John Wiley & Sons, 2020.
- [12] S. Muhammad, "Analisis Penurunan Gangguan Akibat Petir pada Transmisi 150 kV Penghantar Maninjau–Simpang Empat Menggunakan DGS (Direct Grounding System)," *Doctoral dissertation*, Universitas Muhammadiyah Sumatera Barat, 2022.
- [13] PT PLN (Persero), *Buku Pedoman Pemeliharaan Transmisi Kepdir 0520-I.K.145*, 2014.
- [14] V. A. Rakov and M. A. Uman, *Lightning: Physics and Effects*, Cambridge: Cambridge University Press, 2003.
- [15] W. P. Rarun, L. S. Patras, and H. Tumaliang, "Analisis Grounding Pada Tower Transmisi 150 kV Untuk Mencegahnya Terjadinya Back Flashover di Jalur Lopana–GIS Teling," 2024.
- [16] D. Soekirno, *Teknik Tegangan Tinggi*, Jakarta: Erlangga, 1995.
- [17] M. Syarof, "Analisis Arus Gangguan Kilat terhadap Pentanahan Kaki Menara Transmisi 150 kV dengan Metode Pentanahan Counterpoise, Rod dan Gabungan," *Doctoral dissertation*, ITN Malang, 2006.
- [18] A. F. Tumenggung and A. Santoso, "Analisis Perancangan Sistem Grounding pada Saluran Transmisi 150 kV untuk Meningkatkan Keandalan Sistem Tenaga Listrik," *Jurnal Energi dan Kelistrikan*, vol. 10, no. 2, pp. 45–53, 2021.
- [19] F. A. Waskita, "Identifikasi dan Analisis Black Out Akibat Gangguan Jaringan Distribusi Listrik dengan Menggunakan Metode Fault Tree Analysis (FTA) dan Failure Mode and Perfect Analysis (FMEA) (Studi Kasus: PT. PLN (Persero) Unit Pelaksana Pengendalian Pembangkitan (UPDK KAPUAS))," *Doctoral dissertation*, Universitas Islam Indonesia, 2023.
- [20] R. Zoro and A. G. Putra, "Analisis Tegangan Sentuh dan Tegangan Langkah pada Sistem Grounding Gardu Induk," *Jurnal Teknik Elektro Universitas Diponegoro*, vol. 6, no. 2, pp. 123–130, 2017.

**Fikram Asnawi**, anak ke dua dari lima bersaudara. Lahir di Desa Ilomata pada 15 Maret 2002.



Penulis menempuh pendidikan pertama di TK Mawar Ilomata (2007-2008), selanjutnya di SD Negeri Ilomata (2008-2014), selanjutnya SMP Negeri 1 Pinolosian (2014-2017), dan menyelesaikan sekolah tingkat atas di SMA Negeri 1 Pinolosian (2017-2020). Tahun 2021, Penulis melanjutkan studi di Fakultas Teknik, Jurusan Teknik Elektro, Universitas Sam Ratulangi Manado. Dua tahun kemudian yaitu pada tahun 2023 Penulis memilih konsentrasi minat Teknik Tenaga Listrik dan Tegangan Tinggi. Penulis melaksanakan kerja praktek di PT PLN (Persero) ULTG Sawangan, selama tiga bulan yaitu pada tanggal 22 Juni 2024 sampai dengan 22 Oktober 2024. Selama masa kuliah, Penulis aktif sebagai anggota Himpunan Mahasiswa Elektro (HME). Penulis juga pernah ikut terlibat dalam kegiatan Kuliah Kerja Terpadu (KKT) pada KKT 141 Posko Lansot, Kecamatan Tomohon Selatan, Kota Tomohon.