



ANALISIS PENTANAHAN DIRECT GROUNDING SYSTEM (DGS) TERHADAP SAMBARAN PETIR PADA SUTT 150 KV MENGGUNAKAN ELECTROMAGNETIC TRANSIENT PROGRAM (EMTP)

Ridho Airy Akbar¹, Danial², Managam Rajagukguk³

^{1,2,3}Program Studi Teknik Elektro, Universitas Tanjungpura, Indonesia, Pontianak

¹d1021221091@student.untan.ac.id, ²danial.noah@ee.untan.ac.id,

³managam.rajagukguk@ee.untan.ac.id

Abstrak

Saluran Udara Tegangan Tinggi (SUTT) 150 kV berisiko tinggi mengalami kegagalan isolasi akibat sambaran petir. Penelitian ini menganalisis karakteristik tegangan puncak tower, perbandingan arus gangguan ke tanah antara sistem pentanahan Direct Grounding System (DGS) dan non-DGS, serta pengaruhnya pada parameter isolator menggunakan simulasi Electromagnetic Transients Program (EMTP) dengan injeksi arus petir 50 kA, 100 kA, dan 200 kA. Hasil simulasi menunjukkan implementasi DGS secara signifikan meningkatkan keandalan transmisi. Pada resistansi 10 Ω , DGS mereduksi tegangan surja puncak hingga 28% (2228,88 kV menjadi 1594,82 kV). DGS juga menaikkan efisiensi proteksi melalui pembagian jalur peluahan, sehingga arus gangguan ke tanah pada resistansi 1 Ω turun dari 169,610 kA menjadi 110,194 kA. Pada kondisi non-DGS, Tower 4 mengalami loncatan balik (back flashover) bersamaan pada Fasa S (1161,53 kV) yang melampaui nilai CFO aktual (1086,43 kV), serta Fasa T (1060,89 kV). Fasa T tetap gagal secara fisis akibat pengaruh tegangan jepit isolator, kondisi tegangan operasi AC sesaat, serta kecuraman gelombang kurva volt-waktu yang memicu stres dielektrik lebih besar. Sebaliknya, penerapan DGS berhasil mengondisikan Tower 3 dalam status "Aman" di mana tegangan seluruh fasa berada di bawah ambang batas CFO. Penggunaan DGS terbukti efektif mengeliminasi risiko kegagalan elektrik dan menjaga kontinuitas penyaluran tenaga listrik.

Kata Kunci: SUTT 150 kV, Direct Grounding System, Electromagnetic Transients Program, Loncatan Balik, Tegangan Loncatan Kritis.

Article History

Received: July 2026

Reviewed: July 2026

Published: July 2026

Plagiarism Checker No
237.u873247.fh8374

Copyright : Author

Publish by : Kohesi



This work is licensed under
a [Creative Commons
Attribution-NonCommercial
4.0 International License](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/)



Abstract

The 150 kV High-Voltage Overhead Transmission Line (SUTT) faces high risks of insulation failure due to lightning strikes. This study analyzes tower peak voltage characteristics, compares ground fault currents between Direct Grounding System (DGS) and non-DGS grounding, and evaluates their impact on insulator parameters using Electromagnetic Transients Program (EMTP) simulations with lightning currents of 50 kA, 100 kA, and 200 kA. Simulation results show that DGS implementation significantly enhances transmission reliability. At a 10 Ω resistance, DGS reduces peak surge voltage by 28% (from 2228.88 kV to 1594.82 kV). DGS also improves protection efficiency via discharge path division, reducing ground fault current at 1 Ω from 169.610 kA to 110.194 kA. In the non-DGS configuration, Tower 4 experiences simultaneous back flashover on Phase S (1161.53 kV), exceeding the actual CFO (1086.43 kV), and Phase T (1060.89 kV). Phase T still suffers physical failure due to insulator gripping voltage, instantaneous AC power frequency voltage, and wave steepness on the volt-time curve, which induces greater dielectric stress. Conversely, DGS successfully secures Tower 3 in a "Safe" status, maintaining all phase voltages below the CFO threshold, effectively eliminating electrical breakdown risks and ensuring power supply continuity.

Keywords: 150 kV OHL, Direct Grounding System, Electromagnetic Transients Program, Back Flashover, Critical Flashover.

1. PENDAHULUAN

Transmisi tenaga listrik adalah proses penyaluran daya dari pembangkit menuju pusat distribusi hingga ke konsumen dengan menjaga stabilitas dan kontinuitas aliran. Untuk mengurangi rugi-rugi akibat jatuh tegangan, penyaluran dilakukan dengan tegangan tinggi. Sistem transmisi memiliki karakteristik dinamis yang dapat berubah sesuai kondisi sistem, sehingga berpotensi menimbulkan masalah bila tidak diantisipasi. Oleh karena itu, sistem proteksi pada transmisi harus diperhatikan secara serius karena perannya sangat vital dalam keandalan penyaluran daya listrik.

Petir merupakan salah satu faktor utama penyebab gangguan dalam sistem tenaga listrik, terutama pada saluran transmisi yang paling sering terkena dampaknya. Gangguan tersebut dapat muncul akibat sambaran langsung (*direct strike*) maupun sambaran tidak langsung (*indirect strike*), yang keduanya dapat menghambat penyaluran daya listrik. Pada saluran udara tegangan tinggi, gangguan umumnya lebih banyak disebabkan oleh sambaran langsung (*direct strike*), sedangkan pengaruh sambaran tidak langsung (*indirect strike*) relatif kecil terhadap keandalan sistem.

Untuk meminimalisir dampak sambaran petir, diterapkan sistem proteksi petir yang salah satunya adalah sistem pentanahan (*grounding system*). *Direct Grounding System* (DGS) merupakan salah satu metode proteksi penting pada tower SUTT/SUTET untuk menjaga stabilitas dan kontinuitas penyaluran listrik, di mana DGS berfungsi sebagai pengaman *body*



tower dari tegangan lebih yang disebabkan oleh surja petir. DGS ditempatkan pada posisi paling atas pada tower SUTT/SUTET dengan tujuan sambaran pertama dari surja petir akan dibuang langsung ke arde/pentanahan tanpa melewati *body* tower secara penuh.

Dalam perkembangan teknologi analisis sistem tenaga, aplikasi *Electromagnetic Transients Program* (EMTP) banyak dimanfaatkan untuk melakukan simulasi gangguan listrik. EMTP mampu memodelkan fenomena transien elektromagnetik secara detail, termasuk efek dari sistem pentanahan. Oleh karena itu, pemanfaatan EMTP dalam menganalisis pentanahan DGS menjadi sangat relevan, khususnya untuk mengetahui bagaimana sistem merespon sambaran petir secara dinamis dalam domain waktu.

2. LANDASAN TEORI

2.1 Saluran Udara Tegangan Tinggi (SUTT)

Berdasarkan regulasi ketenagalistrikan, Saluran Udara Tegangan Tinggi (SUTT) adalah saluran tenaga listrik yang menggunakan kawat tanpa isolasi (*bare conductor*) di udara bertegangan nominal di atas 35 kV sampai dengan 230 kV. Karakteristik geometris dan jenis konstruksi penyangga memegang peranan penting dalam menentukan respons sistem terhadap gangguan transien.

2.2 Pentanahan Kaki Tower (Tower Grounding)

Pentanahan tower adalah perlengkapan sistem transmisi yang berfungsi untuk meneruskan arus listrik dari tiang SUTT ke tanah akibat sambaran petir. Nilai pentanahan tower harus dibuat sekecil mungkin agar tidak menimbulkan tegangan puncak tower yang tinggi. Berdasarkan standar SPLN T5.012:2020, nilai batasan resistansi pentanahan untuk SUTT 150 kV adalah maksimal 10 Ω (dan maksimal 3 Ω untuk tower yang berada dekat dengan Gardu Induk). Faktor utama yang memengaruhi resistansi ini adalah tahanan jenis tanah dan geometri elektroda pentanahan.

2.3 Direct Grounding System (DGS)

Pentanahan dengan *Direct Grounding System* merupakan metode pentanahan langsung dari kawat tanah (*Ground Steel Wire / GSW*) yang berada di atas kawat fasa. Skema DGS memisahkan kawat tanah dari struktur utama tower menggunakan keping isolator gantung, kemudian menghubungkannya langsung ke tanah via kabel penyalur khusus (*downconductor*). Dengan demikian, arus petir dialirkan secara terisolasi tanpa melewati *body* tower utama, mengurangi fenomena *Ground Potential Rise* (GPR) yang ekstrem pada struktur tower dan mencegah risiko loncatan balik (*back flashover*) ke kawat fasa.

3. METODOLOGI PENELITIAN

Penelitian ini memodelkan sistem transmisi SUTT 150 kV dengan tower tipe AA2+0 menggunakan perangkat lunak EMTP. Langkah-langkah metodologi meliputi:

3.1 Menghitung Impedansi Tower

Jari-jari geometris rata-rata tower (R_{avg}) dihitung melalui formulasi:

$$R_{avg} = \frac{r_1 \times h_2 + r_2(h_1 + h_2) + r_3 \times h_1}{h_1 + h_2} \quad (m)$$

Impedansi surja tower (Z_{surge}) dimodelkan sebagai:

$$Z_{surge} = 60 \ln \left(\cot \left(\frac{1}{2} \tan^{-1} \left(\frac{R_{avg}}{h_1 + h_2} \right) \right) \right) \quad (\Omega)$$



Dimana:

- r_1 = Jari-jari puncak tower (m)
- r_2 = Jari-jari bagian tengah tower (m)
- r_3 = Jari-jari dasar tower (m)
- h_1 = Tinggi dari dasar ke bagian tengah (m)
- h_2 = Tinggi dari bagian tengah ke puncak (m)
- R_{avg} = Jari-jari geometris rata-rata tower (Ω)
- Z_{surge} = Impedansi surja tower (Ω)

3.2 Menghitung Penembusan Pentanahan Kaki Tower

Ionisasi tanah akibat arus tinggi dimodelkan dengan batas arus kritis (I_g):

$$I_g = \frac{\rho \times E_0}{2 \times \pi \times R_0^2} \quad (A)$$

Dimana:

- I_g = Besar kemampuan sistem pentanahan tower dalam menyalurkan muatan petir ke tanah (A)
- R_0 = Resistansi pentanahan kaki tower (Ω)
- E_0 = Gradient ionisasi tanah, nilai yang direkomendasikan adalah 400 kV/m
- ρ = Resistivitas tanah (Ohm.m)

3.3 Menghitung Impedansi DGS

Model ini digunakan untuk mensimulasikan respon sistem pentanahan langsung terhadap arus gangguan atau sambaran petir pada saluran transmisi.

$$Z_s = 60 \ln \left(\frac{2h}{r} - 60 \right) \quad (\Omega)$$

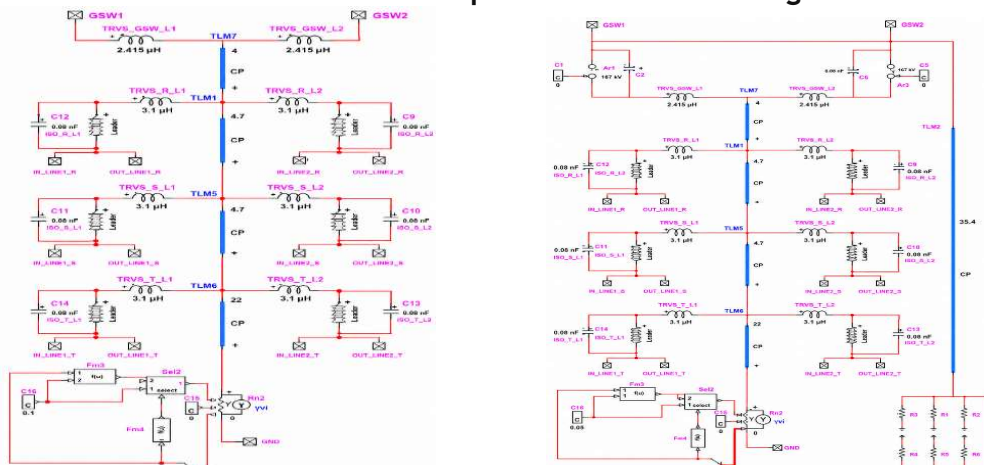
Dimana:

- Z_s = Impedansi kawat pentanahan (Ω)
- h = Tinggi tower (m)
- r = Diameter luar kabel (m)

3.4 Pemodelan Tower Tanpa DGS dan Dengan DGS

Tower biasanya direpresentasikan sebagai saluran penghantar tunggal ideal dengan parameter terdistribusi (model CP di EMTF).

Gambar I. Model Tower Tanpa DGS dan Tower Dengan DGS





3.5 Perhitungan Tegangan Puncak Tower

Sambaran langsung pada tower akan menyebabkan terjadinya kenaikan tegangan dan dapat menyebabkan terjadinya loncatan balik (*back flashover*).

$$L_m = \frac{Z_t}{v} \quad (\mu H)$$

$$L_{total} = L_m \times h \quad (\mu H/m)$$

$$V_m = I_s \times R_E + L \frac{di}{dt} \quad (kV)$$

Dimana:

L_m = Induktansi per-meter (μH)

Z_t = Impedansi surja tower (Ω)

v = Kecepatan rambat gelombang (untuk struktur baja tower $v = 300.000.000$ m/s atau 300 m/ μs).

h = Tinggi tower (m)

V_m = Tegangan puncak tower (kV)

I_s = Arus sambaran (kA)

R_E = Resistansi pentanahan tower (Ω)

L_{total} = Induktansi total jalur arus ke tanah ($\mu H/m$)

$\frac{di}{dt}$ = Laju Perubahan Arus Sambaran (kA/ μs)

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Parameter Tower dan DGS

Berdasarkan tower tipe AA2+0 dan spesifikasi kabel downconductor DGS.

Tabel I. Spesifikasi Tower

No	Type Tower	H (m)	h_1 (m)	h_2 (m)	r_1 (m)	r_2 (m)	r_3 (m)
1	AA2-3	32,4	13,4	19	0,65	0,9	2,4315
2	AA2+0	35,4	13,4	22	0,65	0,9	2,7025
3	AA2+3	38,4	13,4	25	0,65	0,9	2,9735
4	AA2+6	41,4	13,4	28	0,65	0,9	3,2445
5	AA2+9	44,4	13,4	31	0,65	0,9	3,5155

Tabel II. Spesifikasi Kabel Downconductor

Spesifikasi	Nilai/Deskripsi
Nama Produk	Kabel Downconductor
Jumlah Inti Konduktor	1 inti
Bentuk konduktor	Bulat Dipilin Dipadatkan
Material Konduktor	Aluminium
Tebal isolasi	4.0 mm
Diameter luar kabel	18.5 mm

$$R_{avg} = \frac{r_1 \times h_2 + r_2(h_1 + h_2) + r_3 \times h_1}{h_1 + h_2} \quad (m)$$

$$R_{avg} = \frac{0,65 \times 22 + 0,9(13,4 + 22) + 2,7025 \times 13,4}{13,4 + 22} \quad (m)$$

$$R_{avg} = 2,326935 \text{ m}$$



$$Z_{surge} = 60 \ln \left(\cot \left(\frac{1}{2} \tan^{-1} \left(\frac{R_{avg}}{h_1 + h_2} \right) \right) \right) (\Omega)$$

$$Z_{surge} = 60 \ln \left(\cot \left(\frac{1}{2} \tan^{-1} \left(\frac{2,326935}{13,4 + 22} \right) \right) \right) (\Omega)$$

$$Z_{surge} = 204,9831 \Omega$$

Melalui substitusi rumus untuk mencari impedansi DGS, diperoleh nilai $R_{avg} = 2,3269$ m dan $Z_{surge} = 204,98 \Omega$.

$$Z_s = 60 \ln \left(\frac{2h}{r} - 60 \right) (\Omega)$$

$$Z_s = 60 \ln \left(\frac{2 \times 35,4}{0,0185} - 60 \right) (\Omega)$$

$$Z_s = 494 \Omega$$

Dan untuk impedansi surja kabel *downconductor* DGS (Z_s) bernilai 494 Ω .

4.2 Parameter Penembusan Pentanahan Kaki Tower

Parameter-parameter masukan yang digunakan dalam perhitungan ini meliputi resistansi pentanahan standar (R_0) senilai 1 Ω , 5 Ω , 10 Ω dan gradien kuat medan kritis tanah (E_0) sebesar 400 kV/m berdasarkan nilai rekomendasi EMTP (*Electromagnetic Transients Program*). Selain itu, nilai resistivitas tanah (ρ) yang digunakan adalah 20 $\Omega \cdot m$, yang disesuaikan dengan karakteristik jenis tanah berpasir basah pada lokasi penelitian.

4.2.1 Tower dengan pentanahan 1 Ω

$$I_g = \frac{\rho \times E_0}{2 \times \pi \times R_0^2} (A)$$

$$I_g = \frac{20 \times 400000}{2 \times \pi \times 1^2} (A)$$

$$I_g = 1.273.240 A$$

4.2.2 Tower dengan pentanahan 5 Ω

$$I_g = \frac{\rho \times E_0}{2 \times \pi \times R_0^2} (A)$$

$$I_g = \frac{20 \times 400000}{2 \times \pi \times 5^2} (A)$$

$$I_g = 50.929 A$$

4.2.3 Tower dengan pentanahan 10 Ω

$$I_g = \frac{\rho \times E_0}{2 \times \pi \times R_0^2} (A)$$

$$I_g = \frac{20 \times 400000}{2 \times \pi \times 10^2} (A)$$

$$I_g = 12.732 A$$

4.3 Analisis Tegangan Puncak Tower

Tegangan puncak tower (V_m) dianalisis pada konfigurasi Tanpa DGS dan Dengan DGS menggunakan variasi arus sambaran petir 50 kA, 100 kA, dan 200 kA.



Tabel III. Perbandingan Tegangan Puncak Tower Tanpa DGS dan Dengan DGS

Kondisi	Resistansi R_0 (Ω)	Arus Petir (kA)	Tegangan Puncak V_m (kV)		Deviasi (%)
			Perhitungan	Simulasi	
Tanpa DGS	1	50	711,258	761,780	7,10
		100	904,005	996,483	10,23
		200	1177,805	1284,76	9,08
	5	50	911,258	876,924	3,77
		100	1304,005	1233,63	5,40
		200	1977,805	1756,88	11,17
	10	50	1161,258	1004,67	13,48
		100	1804,005	1492,04	17,29
		200	2977.805	2228,88	25,15
Dengan DGS	1	50	686.258	534,551	22,11
		100	854,005	718,479	15,87
		200	1077,805	991,920	8,03
	5	50	786,258	599,379	23,77
		100	1054,005	914,007	13,28
		200	1477,805	1313,97	11,09
	10	50	911,258	669,566	26,52
		100	1304,005	1092,7	16,20
		200	1977,805	1594.82	19,36

Data simulasi menunjukkan bahwa implementasi DGS menurunkan tegangan puncak secara signifikan. Pada resistansi pentanahan kritis 10 Ω dengan hantaman arus petir 200 kA, konfigurasi konvensional menghasilkan tegangan puncak tower sebesar 2228,88 kV. Nilai ekstrem ini memicu stres dielektrik yang tinggi. Dengan DGS, tegangan puncak terpankas hingga 28,4% menjadi 1594,82 kV karena tersedianya jalur peluahan paralel langsung ke bumi.

4.3 Karakteristik Arus Gangguan ke Tanah

DGS berfungsi mendiversifikasikan sebaran arus surja agar tidak bertumpu penuh pada penampang tower utama.

Tabel IV. Sebaran Arus Gangguan ke Tanah

Resistansi Pentanahan (Ω)	Arus Sambaran Petir (kA)	Arus Tanah Tanpa DGS (kA)	Arus Tanah Dengan DGS (kA)
1	50	44,9233	16,9763
	100	87,2197	55,1215
	200	169,610	110,194



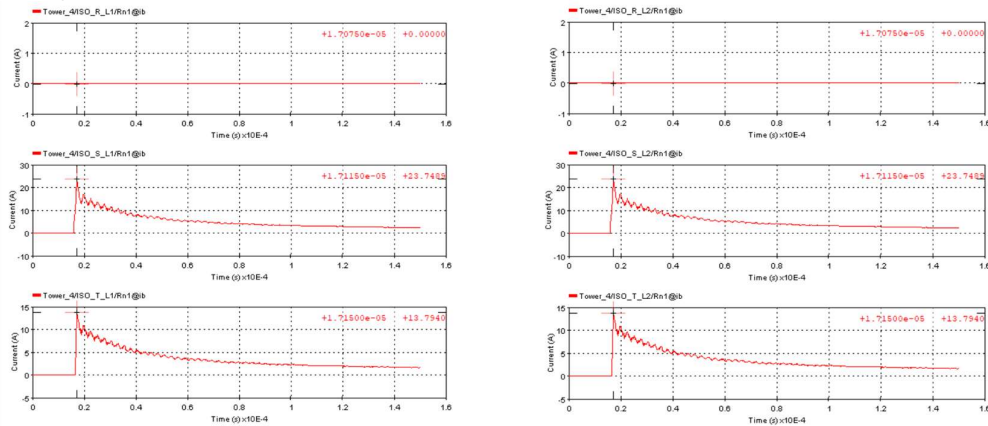
5	50	42,2871	16,1439
	100	81,0852	42,9549
	200	155,096	77,6586
10	50	39,5257	15,2336
	100	74,8676	34,6205
	200	139,873	59,5589

Reduksi arus struktural pada *body* tower (dari 139,873 kA turun menjadi 59,559 kA pada kondisi 10 Ω) mengonfirmasi bahwa sebagian besar energi petir dialihkan melalui sistem interkoneksi DGS secara langsung menuju elektroda pembumian tambahan.

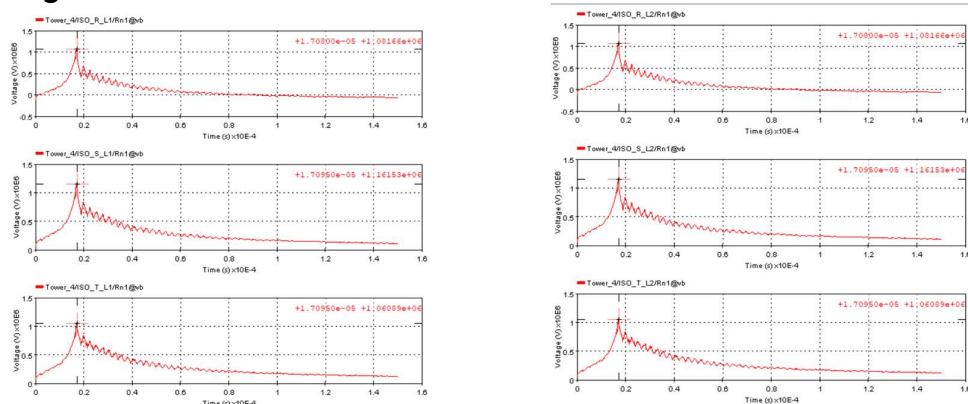
4.4 Evaluasi Loncatan Balik (Back Flashover) Isolator

Nilai batas *Critical Flashover Voltage* (CFO) aktual rentetan 11 keping isolator udara adalah 1086,43 kV. Pada skenario tanpa DGS (10 Ω , 200 kA), visualisasi gelombang domain waktu mendeteksi terjadinya kegagalan isolasi (*breakdown*). Tegangan transien Fasa S mencapai 1161,53 kV (melebihi CFO), memicu timbulnya arus tembus sebesar 23 A pada sela udara isolator. Fasa T dengan tegangan jepit 1060,89 kV juga mengalami kegagalan fisis akibat pengaruh kombinasi tegangan frekuensi daya AC sesaat serta faktor kecuraman gelombang pada kurva volt-waktu.

Gambar II. Hasil Simulasi Arus Pada Isolator Pada Tower Tanpa DGS Line 1 & 2 Dengan resistansi Pentanahan 10 Ohm Dan Arus Sambaran Petir 200 kA

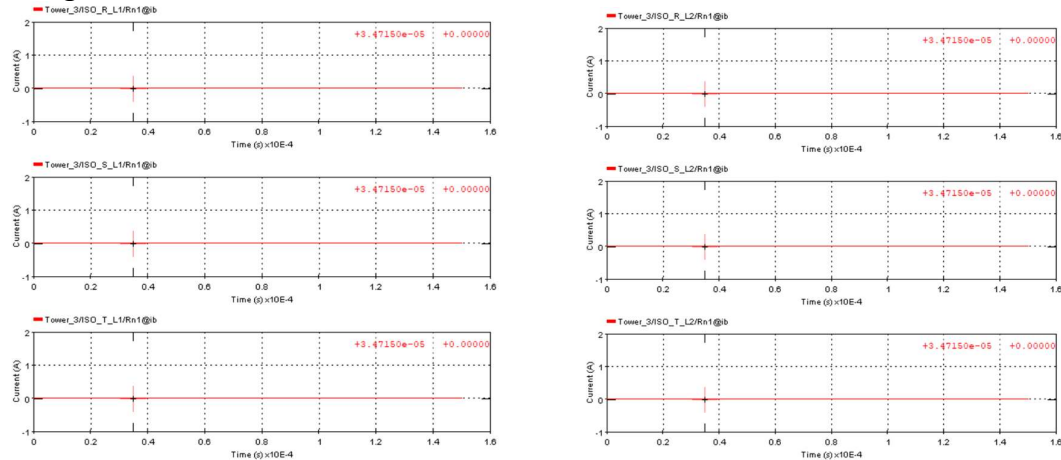


Gambar III. Hasil Simulasi Tegangan Pada Isolator Tower Tanpa DGS Line 1 & 2 Dengan Resistansi Pentanahan 10 Ohm Dan Arus Sambaran Petir 200 kA

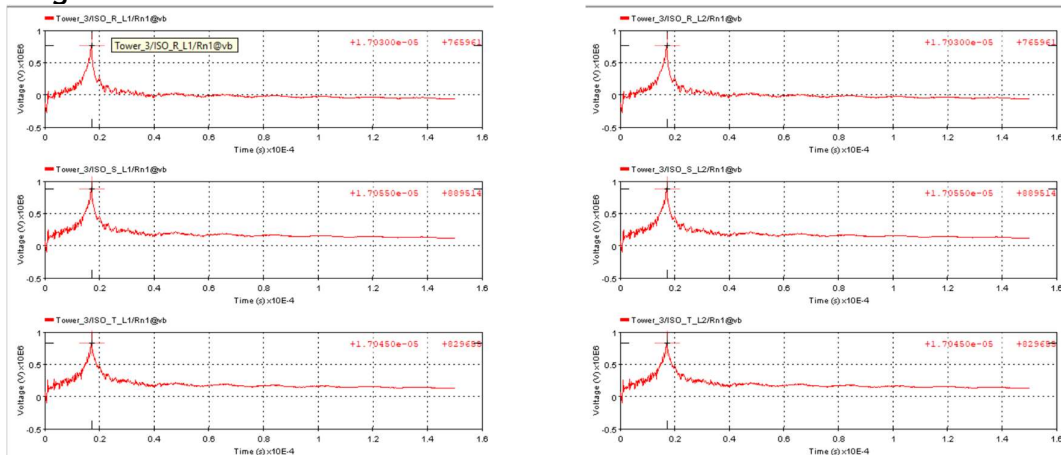


Sebaliknya, pada simulasi dengan penambahan sistem DGS, level tegangan di seluruh fasa berada aman di bawah ambang CFO: Fasa R sebesar 765,96 kV, Fasa S sebesar 889,51 kV, dan Fasa T sebesar 829,65 kV. Aliran arus bocor pada isolator tercatat 0 A, membuktikan hilangnya fenomena *back flashover* secara total.

Gambar IV. Hasil Simulasi Arus Pada Isolator Tower Dengan DGS Line 1 & 2 Dengan Resistansi Pentanahan 10 Ohm Dan Arus Sambaran Petir 200 kA



Gambar V. Hasil Simulasi Tegangan Pada Isolator Tower Dengan DGS Line 1 & 2 Dengan Resistansi Pentanahan 10 Ohm Dan Arus Sambaran Petir 200 kA



5. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil simulasi menggunakan EMTF dan analisis data yang telah dilakukan pada bab sebelumnya, maka dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut:

1. Implementasi *Direct Grounding System* (DGS) terhadap tegangan puncak tower terbukti secara signifikan meningkatkan keandalan tower transmisi dibandingkan sistem pentanahan konvensional melalui kemampuannya mereduksi tegangan surja secara drastis, hingga 28% pada kondisi ekstrem.
2. Implementasi *Direct Grounding System* (DGS) terhadap arus gangguan ke tanah secara signifikan meningkatkan efisiensi proteksi tower transmisi dengan cara mengubah jalur peluahan arus surja tunggal menjadi sistem yang bervariasi, dimana beban arus yang mengalir melalui struktur utama tower (arus gangguan ke tanah) berhasil diturunkan.



3. Implementasi *Direct Grounding System* (DGS) terhadap parameter arus dan tegangan pada isolator terbukti secara signifikan meningkatkan keandalan sistem isolasi tower transmisi dengan cara mengeliminasi risiko kegagalan (*breakdown*) elektrik yang terjadi pada sistem konvensional. Pada kondisi tanpa DGS, sistem transmisi menunjukkan karakteristik kegagalan impuls petir akibat tegangan surja yang melampaui batas kritis ketahanan dielektrik aktualnya *Critical Flashover Voltage* (CFO). Stres elektrik kritis ini memicu fenomena loncatan balik (*back flashover*) secara bersamaan pada fasa saluran akibat terjadinya tembus dielektrik pada sela udara isolator, sehingga memunculkan aliran arus gangguan yang melewati piringan isolator. Namun, melalui penerapan teknologi DGS, seluruh skenario pengujian kritis berhasil dikondisikan berada dalam status aman karena perangkat proteksi tambahan ini mampu mengalihkan beban arus gangguan serta meredam lonjakan tegangan surja secara langsung ke tanah melalui jalur peluahan tambahan. Mekanisme tersebut secara efektif menjaga perbedaan potensial pada isolator tetap minimal, mempertahankan media isolasi udara di sekitar piringan dalam kondisi non-konduktif, dan memastikan kontinuitas penyaluran tenaga listrik tetap andal meskipun menghadapi sambaran petir ekstrem dan resistansi pembumian kaki tower yang tinggi.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Muhammad Suheri. 2022. "Analisis Penurunan Gangguan Akibat Petir Pada Transmisi 150 KV Penghantar Maninjau-Simpang Empat Menggunakan DGS (Direct Grounding System)". Universitas Muhammadiyah, Sumatera Barat.
- [2] Sigit Setya Wiwaha. 2021. "Evaluasi Pentanahan Terhadap Sambaran Petir Pada SUTT 70 kV Menggunakan Electromagnetic Transient Program (EMTP)". Jurnal sistem kelistrikan. Vol.8 No.3, ISSN: 2407-232X, E-ISSN: 2407-2338.
- [3] Luntungan, P, Renaldi (2018). "Analisa Daerah Lindung dan Grounding Pada Tower Transmisi Akibat Terjadinya Back Flashover". Manado: Universitas Sam Ratulangi Manado.
- [4] B. Eko Prasetyo and P. Surya Harijanto, "Analisis Perbaikan Sistem Pentanahan Pada Tower Transmisi 150 kV Terhadap Sambaran Petir Menggunakan Simulasi Alternative Transient Program (Atp) ", *Jtia*, vol. 3, no. 2, pp. 61-68, Oct. 2022.
- [5] Dennis Cristian Salamba. 2024. "Evaluasi sistem pentanahan tower Transmisi saluran udara tegangan tinggi SUTT 150 kV wilayah sulawesi untuk mitigasi gangguan sambaran petir". Universitas Hasanudin
- [6] KEPDIR No. 0520 K/DIR/2014 Pedoman Pemeliharaan Peralatan Penyaluran Tenaga Listrik PT PLN (Persero).
- [7] P. S. Harijanto and R. Zoro, "Analysis of lightning strike to overhead EHV 500 kV transmission system Jawa-Bali Crossing," 2016 3rd Conference on Power Engineering and Renewable Energy (ICPERE), 2016, pp. 275-280, doi: 10.1109/ICPERE.2016.7904880.
- [8] Zoro, Reynaldo. 2018. Sistem Proteksi pada Sistem Tenaga Listrik. Remaja Rosdakarya.
- [9] IEEE. (1997). *IEEE Guide for Improving the Lightning Performance of Transmission Lines*. IEEE Std 1243-1997. New York: IEEE.