



Optimalisasi Sistem Pentanahan Untuk Mengurangi Back Flashover Akibat Sambaran Petir Pada Tower Sutt Penghantar Sentul Cibinong

Tun Sri Rajunul Muha¹, Yusreni Warmi¹, Zulkarnaini¹, Arfita Yuana Dewi¹, Erhaneli¹

¹Institut Teknologi Padang, Indonesia

✉ 2023310051.tun@itp.ac.id

Abstract

This study aims to analyze the impact of grounding system improvements on crossarm voltage and the potential occurrence of back flashover in power transmission networks. Initially, the grounding resistance reached 33.2 Ω , exceeding the IEEE Std 80-2000 standard, with lightning current assumed between 20 kA and 80 kA. Simulation results show that crossarm voltage without considering the corona effect reached 1493.715 kV, while with the corona effect, it reached 1533.7 kV, both exceeding the flashover voltage threshold of 1440.439 kV. After improvements were made by extending the grounding electrode, the resistance decreased to 7.489 Ω (simulated) and 5.20 Ω (measured in the field). The crossarm voltage without corona effect dropped to 1438.829 kV and 1433.947 kV, approaching or below the flashover voltage limit. However, crossarm voltage with the corona effect remained above the threshold at 1508.4 kV and 1505.9 kV. These results indicate that while grounding improvements effectively reduce back flashover risk, the corona effect remains a factor that must be further mitigated to achieve optimal protection. Gateway have a positive and significant influence on SMEs' performance.

Keywords: Lightning Disturbance, Back Flashover, Transmission Tower, Grounding, Corona Effect.

ARTICLE INFO

Article history:

Received

July 20, 2024

Revised

October 22, 2024

Accepted

November 15,
2024

Published by

ISSN

Website

This is an open access article under the CC BY SA license

CV. Creative Tugu Pena

2774-7077

<https://attractivejournal.com/index.php/bce/>

<https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/>



PENDAHULUAN

Seiring dengan meningkatnya kebutuhan listrik, sistem tenaga listrik yang mampu beroperasi secara maksimal sangat diperlukan. Penyaluran energi listrik dari pembangkit ke konsumen dilakukan melalui jaringan listrik yang terdiri dari komponen transmisi dan distribusi. Dalam proses ini, saluran udara tegangan tinggi (SUTT) dan saluran udara tegangan ekstra tinggi (SUTET) seringkali melewati daerah yang rentan terhadap sambaran petir, yang dapat mengakibatkan gangguan terutama akibat sambaran langsung (Lembang et al., 2018).

Petir adalah fenomena alam yang bersifat acak dan tidak dapat diprediksi kapan terjadinya (Putra, 2017). Terdapat dua jenis sambaran petir, yaitu sambaran langsung dan sambaran tidak langsung. Intensitas sambaran petir di suatu wilayah dapat dilihat dari nilai Iso Keraunic Level (IKL), yang menunjukkan jumlah hari terjadinya petir dalam setahun. Berdasarkan data BMKG, wilayah Jawa Barat pada tahun 2024 memiliki nilai IKL yang tergolong tinggi.

Sambaran petir yang mengenai sistem tenaga listrik dapat menimbulkan lonjakan tegangan. Tegangan lebih berpotensi merusak peralatan jika dibiarkan mengalir ke dalam sistem dan tersalurkan ke beban. Lonjakan tegangan adalah peningkatan tegangan pada kawat penghantar listrik yang terjadi akibat adanya lonjakan energi yang mendadak. Tegangan ini bersifat sementara (transien) dan hanya dapat berlangsung dalam waktu yang singkat sebelum sistem kembali ke kondisi normal. Salah satu gangguan eksternal yang sering terjadi adalah sambaran petir, baik yang mengenai kawat penghantar secara langsung maupun kawat tanah pada saluran udara tegangan tinggi (Luntungan et al., 2018).

Sistem transmisi sering mengalami gangguan akibat sambaran petir, terutama sambaran langsung, karena menara transmisi yang tinggi cenderung lebih rentan terhadap petir, terutama di daerah dengan tingkat petir yang tinggi (Luntungan et al., 2018). Ketika petir menyambar kawat tanah atau menara, arus akan mengalir dari menara menuju ke tanah. Jika tegangan pada isolator mencapai atau melebihi batas tegangan lompatan api (Voltage Flashover atau VFO), maka akan terjadi fenomena back flashover (Hariyanto & Prasetyo, 2023).

Berdasarkan data gangguan transmisi di PLN UPT Bogor dari tahun 2018 hingga 2024, petir menjadi penyebab dominan terjadinya gangguan, yang sering mengakibatkan back flashover (Erhaneli et al., 2022).

Peningkatan kebutuhan listrik di wilayah Sentul – Cibinong sejalan dengan tantangan yang dihadapi oleh sistem transmisi listrik, terutama dalam menghadapi risiko sambaran petir. Salah satu permasalahan utama adalah gangguan yang sering terjadi pada tower SUTT (Saluran Udara Tegangan Tinggi) akibat sambaran langsung petir, mengingat wilayah Jawa Barat memiliki tingkat petir yang tinggi berdasarkan data Iso Keraunic Level (IKL) dari BMKG. Hal ini mengakibatkan fenomena lonjakan tegangan yang dapat merusak peralatan listrik serta menimbulkan back flashover, yang menjadi salah satu penyebab utama gangguan transmisi di area tersebut. Oleh karena itu, penting untuk membahas solusi teknis dalam mitigasi risiko sambaran petir pada Tower SUTT Sentul – Cibinong (Matlab et al., 2014).

METODE

Desain Penelitian Penelitian ini menggunakan desain kuantitatif dengan pendekatan eksperimental. Fokus utama adalah untuk menganalisis dampak sambaran petir pada sistem transmisi dan melakukan perhitungan berbagai parameter teknis pada Tower SUT. Populasi/Sampel Penelitian Populasi dalam penelitian ini adalah seluruh menara SUTT di daerah Sentul-Cibinong, dengan sampel yang diambil dari menara yang paling rentan terhadap sambaran petir, yaitu Tower 31 ((Persero), 2014). Teknik dan Instrumen Pengumpulan Data Pengumpulan data dilakukan melalui: Pengujian Tahanan Pentanahan menggunakan alat Kyoritsu 4105A dan Fluke 1625-2. Pengukuran Tegangan dengan menggunakan multimeter untuk mendapatkan nilai tegangan yang relevan. Observasi langsung terhadap fenomena flashover pada isolator (Wibowo et al., 2012). Alat Analisis Data Analisis data dilakukan dengan menggunakan rumus statistik dasar seperti: Rumus Uji-t untuk membandingkan nilai tegangan sebelum dan sesudah perbaikan pada isolator. Rumus Uji-F untuk menganalisis varians antara kelompok data yang berbeda. Model Penelitian Model penelitian yang digunakan adalah model analisis deskriptif dan komparatif. Keterangan simbol pada model ini mencakup: V: Tegangan R: Resistansi I: Arus L: Panjang isolator Validitas dan Reliabilitas Hasil pengujian validitas dan reliabilitas instrumen menunjukkan bahwa instrumen yang digunakan memiliki tingkat validitas yang tinggi serta reliabilitas yang konsisten, sehingga dapat digunakan untuk mengukur parameter yang diinginkan dengan akurat (Belhadji et al., 2008).

HASIL DAN PEMBAHASAN

Solusi dan Pencegahan dari Back Flashover

Untuk pencegahan back flashover dapat dilakukan dengan cara perbaikan nilai pentanahan, perbaikan gap arching horn, pemasanganan TLA serta pemasangan DGS. Namun untuk pencegahan yang paling efisien dan ekonomis pada SUTT adalah dengan dilakukan perbaikan nilai pentanahan, dikarenakan pentingnya kontinuitas penyaluran yang apabila tidak disegerakan akan mengganggu sistem transmisi yang berjalan (Dewi et al., 2020).

Faktor umur, seperti kerusakan yang disebabkan oleh sambungan baut yang kendur serta korosi pada bagian elektroda, sangat penting untuk diperhatikan dalam menjaga keandalan sistem grounding. Untuk memastikan kinerja optimal, pengukuran tahanan grounding pada menara harus dilakukan secara berkala dengan metode yang telah dijelaskan sebelumnya. Jika hasil pengukuran menunjukkan nilai tahanan yang tinggi, maka menara tersebut perlu dimasukkan ke dalam daftar perbaikan (Rahmono et al., 2019).

Sebagai solusi untuk mengurangi nilai tahanan grounding yang tinggi, beberapa langkah dapat diambil. Pertama, memperdalam batang pentanahan dapat meningkatkan efektivitasnya. Kedua, menambah jumlah batang pentanahan dengan memasang empat batang elektroda tambahan akan membantu memenuhi standar resistansi pentanahan, yaitu $\leq 10 \Omega$. Dengan langkah-langkah ini, diharapkan sistem pentanahan dapat berfungsi dengan lebih baik, mengurangi risiko kegagalan akibat sambaran petir, serta meningkatkan keselamatan dan keandalan sistem tenaga Listrik (Rika Widianita, 2023).

Menghitung Tahanan Pentanahan yang Baru

Dengan menggunakan persamaan (2.23) dan menggunakan metoda 4 batang elektroda pada persamaan (2.26) sehingga nilai tahanan pentanahan dapat memenuhi standar ketentuan PLN dengan penyederhanaannya sebagai berikut (Rahmono et al., 2019):

$$R = \left(\frac{\rho}{2\pi L} \right) \ln \left(\frac{2L}{d} \right) \quad (2.23)$$

$$A = \sqrt[4]{2 \frac{1}{2} a^3 r} \quad (2.26)$$

$$R = \left(\frac{\rho}{2\pi L} \right) \ln \left(\frac{2L}{\sqrt[4]{2 \frac{1}{2} a^3 r}} \right)$$

Di mana,

ρ = dikarena jenis tanah diantara pasir basah dan kerikil basah, maka

$$\frac{500 + 200}{2} = 375 \Omega.m$$

L = 20 meter

Jumlah elektroda = 4

Jari-jari elektroda = 0,045 m

Jarak antara batang pengetanahan = 10 m

Jadi,

$$R = \left(\frac{375}{2 \times 3,14 \times 20} \right) \ln \left(\frac{2 \times 20}{\sqrt[4]{2 \frac{1}{2} \times 10^3 \times 0,045}} \right)$$

$$R = \left(\frac{375}{125,6} \right) \ln \left(\frac{40}{\sqrt[4]{112,5}} \right)$$

$$R = \left(\frac{375}{125,6} \right) \ln \left(\frac{40}{3,257} \right)$$

$$R = \left(\frac{375}{125,6} \right) \ln(12,285)$$

$$R = \left(\frac{375}{125,6} \right) \times 2,5084$$

$$R = (2,98) \times 2,5084$$

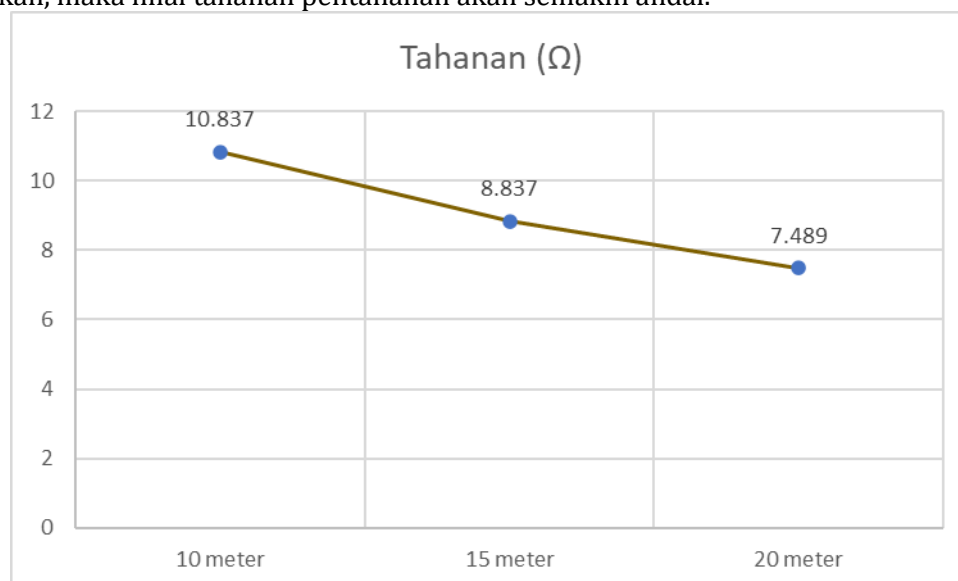
$$R = 7,489 \Omega$$

Hasil dari perhitungan tahanan baru adalah sebesar 7,489 Ω yang mana hasil pentanahan tersebut sesuai dengan standar nilai grounding dari IEEE Std 80-2000 atau nilai tahanan pentanahan $\leq 10 \Omega$.

Tabel 4.1 Hasil Tahanan Penambahan Panjang Elektroda

Panjang Elektroda (m)	Tahanan (Ω)
10	10,8
15	8,83
20	7,48

Pada Tabel 4.3 diperoleh hasil perhitungan nilai tahanan Tower SUTT yang baru setelah menambah panjang elektroda. Data menunjukkan semakin panjang elektroda yang digunakan, maka nilai tahanan pentanahan akan semakin andal.



Grafik 4.1 Karakteristik Panjang Elektroda pada Nilai Pentanahan

Sehingga didapatkan karakteristik nilai tahanan pentanahan pada parameter Panjang elektroda pada Grafik 4.2 yaitu semakin panjang elektroda yang digunakan semakin rendah nilai dari tahanan pentanahan yang akan didapatkan.

Pengukuran Tahanan Pentanahan yang Baru

Untuk mendapatkan pengukuran tahanan pentanahan yang baru, penulis menanamkan tiga batang elektroda dengan jarak 10 meter pada masing-masing batang. Pada pengerjaannya dilakukan oleh 4 orang pelaksana pekerjaan, 1 orang pengawas pekerjaan dan 1 orang pengawas K3L.

Pelaksana pekerjaan melakukan pekerjaan dalam rentang waktu lebih kurang 3 jam untuk memasang elektroda yang baru pada Tower 31 penghantar Sentul – Cibinong. Yang diawali dengan menyiapkan peralatan yang akan digunakan kemudian dilakukannya safety briefing untuk menjelaskan apa saja yang akan dilakukan dan proses bagaimana pekerjaan itu dilakukan, dilanjutkan dengan pengerjaan penggalian tanah menggunakan cangkul untuk menancapkan elektroda pentanahan (Toyib et al., 2023).

Setelah selesai melakukan pekerjaan, penulis akan melakukan pengukuran pentanahan dengan metode tiga titik dengan menggunakan alat uji pentanahan Fluke 1625-2 dengan hasil pengukuran dapat dilihat pada gambar di bawah:



Gambar 4.1 Nilai pengukuran Pentanahan yang baru

Sehingga nilai pengukuran nilai tahanan pentanahan 5,20 ohm yang mana hasil nilai resistansi pentanahan sesuai dengan standar yang telah ditetapkan oleh IEEE Std 80-2000 atau nilai tahanan pentanahan $\leq 10 \Omega$ (Sitorus, Henry B. H., Diah Permata, 2008).

Perbandingan Nilai Tegangan Crossarm Sebelum dan Sesudah dilakukannya perubahan Tahanan Pentanahan yang mengabaikan efek korona

Dengan menggunakan parameter tower sebelumnya perhitungan akan dimulai dari faktor redaman hingga mendapatkan tegangan crossarm yang kemudian akan dibandingkan dengan nilai sebelumnya sehingga akan disimpulkan bahwa nilai dari tahanan pentanahan akan berpengaruh terhadap kejadian back flashover pada Tower SUTT Penghantar Sentul – Cibinong (Prasetyo, 2021).

Menghitung Faktor Redaman

$$\psi = \left[\frac{2Z_t - Z_g}{(2Z_t + Z_g)^2} \right] \left[\frac{Z_t - R_p}{Z_t + R_p} \right] \quad (2.17)$$

Di mana,

$$Z_g = 394,73 \Omega$$

$$Z_t = 175,595 \Omega$$

$$R_p = 7,489 \Omega$$

Jadi,

$$\psi = \left[\frac{2 \times 175,595 - 394,73}{(2 \times 175,595 + 394,73)^2} \right] \left[\frac{175,595 - 7,489}{175,595 + 7,489} \right]$$

$$\psi = \left[\frac{351,19 - 394,73}{(351,19 + 394,73)^2} \right] \left[\frac{168,106}{183,084} \right]$$

$$\psi = \left[\frac{-43,54}{(745,92)^2} \right] [0,9182]$$

$$\psi = \left[\frac{-43,54}{556.396,6464} \right] [0,9182]$$

$$\psi = [-0,0000782535][0,9182]$$

$$\psi = -0,000072$$

Dari persamaan (2.17), data untuk menghitung faktor redaman diperoleh dari hasil impedansi menara, impedansi surja kawat tanah dan nilai resistansi pentanahan menara. Sehingga didapat hasil faktor redaman yaitu -0,000072 (Stud, 2014).

Menghitung Tegangan Puncak Menara

Untuk perhitungan Tegangan Puncak Menara menggunakan arus asumsi sebesar 35 kA karena sebelumnya pada tabel sebelumnya yang mampu menembus tegangan loncatan api pada isolator adalah arus 35 kA dengan tegangan crossarm sebesar 1449,3548 kV (Harijanto & Prasetyo, 2023)

$$V_t = \left[Z_I - \frac{Z_w}{1-\psi} \left(1 - \frac{\tau_T}{1-\psi} \right) \right] \cdot I \quad (2.13)$$

Di mana,

$$Z_I = 92,9223 \Omega$$

$$Z_w = 57,27387 \Omega$$

$$\tau_T = 0,14 \mu s$$

$$\psi = -0,000072$$

$$I = 35 \text{ kA}$$

Jadi,

$$V_t = \left[92,9223 - \frac{57,27387}{1 + 0,000072} \left(1 - \frac{0,14}{1 + 0,000072} \right) \right] \cdot 35$$

$$V_t = [92,9223 - 57,2697(1 - 0,13999)]. 35$$

$$V_t = [92,9223 - 57,2697(0,86)]. 35$$

$$V_t = [92,9223 - 49,25198]. 35$$

$$V_t = 43,67 \times 35$$

$$V_t = 1528,461 \text{ kV}$$

Menghitung Tegangan Dasar Menara

Untuk mencari tegangan pada dasar menara, langkah pertama adalah menghitung pembiasan pada tahanan kaki menara, dengan persamaan (2.20).

$$\alpha_R = \frac{2R}{Z_t + R} \quad (2.20)$$

Di mana,

$$Z_t = 175,595 \Omega$$

$$R = 7,489 \Omega$$

Jadi :

$$\alpha_R = \frac{2 \times 7,489}{175,595 + 7,489}$$

$$\alpha_R = \frac{14,978}{183,084}$$

$$\alpha_R = 0,0818$$

Setelah nilai pembiasan dihitung dengan hasil sebesar 0,0818, langkah selanjutnya adalah menghitung tegangan dasar menara dengan perhitungan persamaan (2.19)

$$V_R = \left[\frac{\alpha_R \cdot Z_I}{1-\psi} \right] \left[1 - \frac{\psi \cdot \tau_T}{(1-\psi)} \right] \cdot I \quad (2.19)$$

Di mana,

$$\alpha_R = 0,0818$$

$$Z_I = 92,9223 \Omega$$

$$\tau_T = 0,14 \mu s$$

$$\psi = -0,000072$$

$$I = 35 \text{ kA}$$

Jadi :

$$V_R = \left[\frac{0,0818 \times 92,9223}{1 + 0,000072} \right] \left[1 - \frac{-0,000072 \times 0,14}{(1 + 0,000072)} \right] \cdot 35$$

$$V_R = \left[\frac{7,6019}{1,000072} \right] \left[1 - \frac{-0,000072 \times 0,14}{(1,000072)} \right] \cdot 35$$

$$V_R = [7,601][1 + 0,0000100793] \cdot 35$$

$$V_R = [7,601][1,0000100793] \cdot 35$$

$$V_R = 7,6010766 \times 35$$

$$V_R = 266,038 \text{ kV}$$

Sehingga Tegangan yang terjadi pada dasar menara diperoleh sebesar 266,038 kV.

Menghitung Tegangan Crossarm

$$V_{pn} = V_R + \frac{\tau_T - \tau_{pn}}{\tau_T} [V_T - V_R]$$

Di mana,

$$V_R = 266,038 \text{ kV}$$

$$\tau_{pn} = 0,00989 \mu s$$

$$\tau_T = 0,14 \mu s$$

$$V_t = 1528,461 \text{ kV}$$

Jadi :

$$V_{pn} = 266,038 + \frac{0,14 - 0,00989}{0,14} [1528,461 - 266,038]$$

$$V_{pn} = 266,038 + \frac{0,13011}{0,14} [1262,423]$$

$$V_{pn} = 266,038 + 0,929 [1262,423]$$

$$V_{pn} = 266,038 + 1172,79$$

$$V_{pn} = 1438,829 \text{ kV}$$

Apabila nilai penanahan dimasukkan pada tabel, maka didapatkan nilai perbandingan nilai pentanahan pada perhitungan dan pengukuran pada perhitungan nilai Tegangan Crossarm mengabaikan korona dapat dilihat pada Tabel 4.4

Tabel 4.2 Hasil Perhitungan Tegangan Crossarm setelah Perbaikan Tahanan Pentanahan

Tegangan Crossarm Pada Perhitungan Tahanan Pentanahan (7,489 Ω) secara Perhitungan	Tegangan Crossarm Pada Pengukuran Tahanan Pentanahan (5,20 Ω) secara Real Lapangan
1438,829 kV	1433,947 kV

Perbandingan Nilai Tegangan Crossarm Sebelum dan Sesudah dilakukannya perubahan Tahanan Pentanahan dengan efek korona (Anderson Method)

Dengan menggunakan parameter pentanahan yang telah diperbaiki, menambahkan efek korona di dalam perhitungan, dan menggunakan asumsi arus

gangguan petir yang melewati batas flashover pada isolator yaitu sebesar 35 kA (Fathudin et al., 2017).

Maka hasil perhitungan untuk dengan menggunakan Anderson Method yang dihitung menggunakan program excel dapat dilihat pada gambar di bawah:

Data yang Dibutuhkan				Ket:						
W	1,752	Amn	84,0625353	W	: Jarak arching horn atau Panjang Isolator					
h	42,031	Bmn	0,3	h	: Tinggi menara					
Eo	1500	Amn1	73,10	Eo	: Gradien Korona					
R	0,525	Bmn1	5,50	R	: Radius sampul korona					
r	0,0048	Amn2	66,70	r	: Radius konduktor shield					
rt	3,194	Bmn2	11,90	rt	: jari-jari kaki menara					
Ks	0,85	Amn3	60,60	Ks	: Faktor Attenuasi (diasumsikan 0.85)					
S	413	Bmn3	18,00	S	: Jarak span					
D	1,752	Amn11	61,70	D	: jarak arching horn atau Panjang Isolator					
Tt	300	Bmn11	21,41	Tt	: Waktu Tempuh Menara					
Rt	7,48	Amn22	68,86	Rt	: Tahanan menara					
IKL	30	Bmn22	20,83	ca	: Crossarm					
adlar	57,3	Amn33	73,92	p	: phase					
b	11	Bmn33	12,30	IKL	: isokeraunic level					
Rt	40,63			b	: Jarak antara kabel pelindung					
I	2,24									
	35									

STEP	PROCEDURE	FIGURE OR EQUATION	COMPUTED VALUE FOR PHASE						
			A	B	C	D	E	F	G
1	Menentukan tegangan flashover isolator (V ₁₂) pada 2 μs	Eq. 12.10.10 (V ₁₂)=820*W W=Panjang Isolator	1436,6	1436,64	1436,64	1436,64	1436,64	1436,64	1436,64
2	Menentukan tegangan flashover isolator (V ₁₂) pada 6 μs	Eq. 12.10.11 (V ₁₂)=585*W	1024,9	1024,9	1024,9	1024,9	1024,9	1024,9	1024,9
3	Kalikan nilai langkah 1 dengan 1.8 untuk memperkirakan tegangan atas menara dan rata-rata untuk semua fase (kV)	Step 1	2585,952						
4	Menggunakan Tegangan langkah 3 dan Eo=1500 kV/m. Menghitung diameter kawat perisai korona (m). Gunakan ketinggian di menara	Figure 12.5.3 Eq. 12.5.2 Appendix 12.2	1,72 0,340 0,68						
5	Dengan menggunakan hasil langkah 4, hitung impedansi lonjakan dari masing masing kawat perisai di menara (Ω)	Eq. 12.5.3	440						
6	Menggunakan hasil langkah 5, hitung gabungan lonjakan impedansi, Z _s , dari kawat perisai (Jika hanya satu kawat perisai, sama seperti langkah 5)	Eq. 12.5.5A (Z _{mn}) Eq. 12.5.6 (Z _s)	338 389						
7	Menghitung faktor kopling (alat penghubung) untuk setiap fase konduktor.	Eq. 12.5.7		0,45	0,25	0,21	0,21	0,25	0,45
8	Menghitung impedansi lonjakan Z _t (Ω)	Figure 12.5.5	176						
9	Tentukan waktu tempuh menara T _t (μs)	Figure 12.5.5	0,14010333						
10	Tentukan waktu tempuh waktu tempuh span T _s (μs)	Defined below Eq. 12.6.12	1,53						
11	Hitung waktu tempuh T _{pn} dari puncak menara ke masing-masing Crossarm (μs)	Defined below Eq. 12.6.7		0,007667	0,023333	0,028	0,028	0,023333	0,007667
12	Pilih pijakan resistansi (Ω). Nilai resistansi tower Figure 12.5.12	Section 12.5	7,48						
13	Hitung Impedansi sirkuit intrinsik, Z _i (Ω)	Eq. 12.6.1A	92,31						
14	Tentukan impedansi gelombang menara Z _w (Ω)	Eq. 12.6.1B	56,98						
15	Tentukan Faktor Redaman menara, Ψ	Eq. 12.6.1C	-0,047						
16	Faktor lengkap pembiasan pijakan resistensi, α	Eq. 12.6.4	0,082						
17	Hitung Perunit tegangan puncak menara (V _t) ₂ pada 2 μs	Eq. 12.10.1	1581,1						
18	Hitung komponen yang dipantulkan pada tegangan (V _t) ₂ di puncak menara dari menara yang berdekatan	Eq. 12.10.3	4						
19	Tambahkan langkah 17 & 18 untuk menemukan tegangan puncak menara yang sebenarnya (V _t) ₂		1585,4						
20	Hitungan tegangan (V _r) ₂ melintasi tahanan pijakan 2 μs	Eq. 12.10.2	254,0						
21	Kurangi (V _r) ₂ dengan Proposi yang sama bahwa langkah 19 dikurangi dari langkah 17 untuk memukan tegangan resistansi pijakan yang sebenarnya (V _r) ₂ pada 2 μs	None	249,7						
22	Untuk setiap fase, hitung tegangan crossarm (V _{pn}) ₂ pada 2 μs	Eq. 12.10.5		1508,4	1360,1	1315,9	1315,9	1360,1	1508,4
23	Dengan menggunakan hasil langkah 7,19 dan 22, hitung masing-masing tegangan isolator perunit pada 2 μs, (V _{sn}) ₂	Eq. 12.10.6		790,9	967,2	990,8	990,8	967,2	790,9
24	Hitung tegangan puncak menara, (V _t) ₆ pada 6 μs tanpa pantulan menara yang berdekatan	Eq. 12.10.9	252,1						
25	Hitung komponen tegangan pantul (V _t) ₆ , dari menara yang berdekatan pada 6 μs	Eq. 12.10.8	-15,3						
26	Dengan menggunakan tegangan pada langkah 24 dan 25 dan koefisien kopling pada langkah 7. Hitung total tegangan isolator perunit untuk setiap fase (V _{sn}) ₆ pada 6 μs	Eq. 12.10.9		129,6	178,1	188,3	188,3	178,1	129,6

			ZaUpper	ZaMiddle	ZaLower	ZaUpper	ZaMiddle	ZaLower
27	Hitung rasio tegangan antara langkah 1 dan 23 untuk setiap fase. Ini akan menjadi (kn)2, sambaran arus kritis yang diperlukan untuk flashover pada 2 μs	Eq. 12.10.12	2	1	1	1	1	2
28	Hitung rasio tegangan antara langkah 2 dan 26 untuk setiap fase. Ini akan menjadi (kn)6 sambaran arus kritis yang diperlukan untuk flashover pada 6 μs	Eq. 12.10.13	8	6	5	5	6	8
29	Untuk setiap fase, pilih arus terendah pada langkah 27 dan 28 sebagai (cn)	None	2	1,485365	1	1	1	2
30	Untuk setiap nilai (cn) dalam langkah 29, pilih tegangan (Vcn) yang berjalan dari langkah 1 dan 2	None	1436,6	1436,64	1436,64	1436,64	1436,64	1436,64
31	Menggunakan langkah 29 dan 30, plot /cn untuk setiap fase untuk mengambil 360°	Eq. 12.6.14 Work sheet 2-A						
32	Dari lembar kerja 2-A, tentukan persentase dari waktu masing-masing fase yang didominasi	Work Sheet 2-A						
33	Hitung nilai rata-rata dari /cn untuk masing-masing fase selama waktu itu didominasi	Eq. 12.6.15 Work Sheet 2-A						
34	Tentukan probabilitas bahwa sambaran arus pada langkah 33 akan dilampaui dalam flash ke baris	Eq. 12.4.8						
35	Kalikan kilatan garis dijadwal 1, langkah 25 dengan 0.60 untuk membuat kilatan menara efektif per 100 km/tahun	None	64,2					
36	Kalikan langkah 35 dengan nilai langkah 32 dan bagi dengan 100 untuk menemukan kilatan menara per fase per 100 km/tahun	None	0,00	8,0	24,1	24,1	8,0	0
37	Kalikan setiap nilai pada langkah 36 dengan probabilitas yang sesuai pada langkah 34 untuk menemukan jumlah sambaran yang diperkirakan menyebabkan flashover untuk fase tertentu	None	0	8,03	24,08	24,08	8,03	0
38	Jumlahkan semua nilai pada langkah 37 untuk total back-flashover per 100 km/tahun		64,20					
39	tambahkan kelangkah 38 kegagalan pelindung total dari jadwal 1 langkah 23 untuk kegagalan total per 100 km/tahun		3529,7					

Gambar 4.2 Perhitungan Anderson Method Setelah Perbaikan

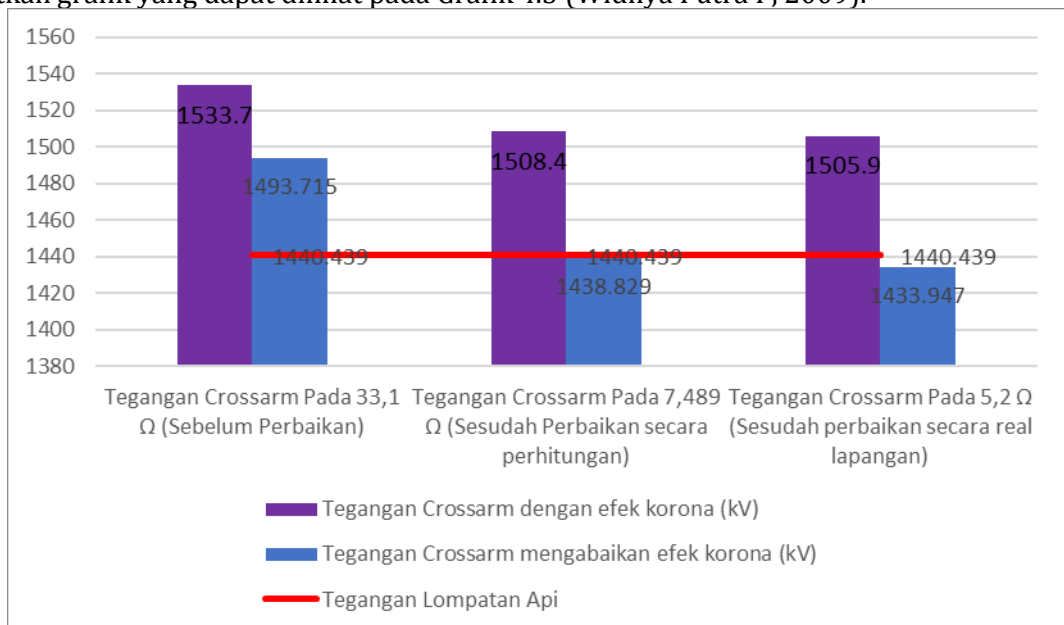
Apabila nilai penanahan dimasukkan pada tabel, maka didapatkan nilai perbandingan nilai pentanahan pada perhitungan dan pengukuran pada perhitungan nilai Tegangan Crossarm dengan efek korona dapat dilihat pada Tabel 4.5 (Hadi Sirad & Taha, 2018).

Tabel 4. 3 Hasil Perhitungan Tegangan Crossarm dengan efek korona setelah Perbaikan Tahanan Pentanahan

Tegangan Crossarm Pada Perhitungan Tahanan Pentanahan (7,489 Ω) secara Perhitungan	Tegangan Crossarm Pada Pengukuran Tahanan Pentanahan (5,20 Ω) secara Real Lapangan
1508,4 kV	1505,9 kV

Analisa perbandingan Nilai Tegangan Crossarm Sebelum dan Sesudah dilakukannya perubahan Tahanan Pentanahan

Sehingga jika salah satu nilai tahanan pentanahan yang baru di implementasikan pada perhitungan analisis gangguan petir dengan arus sebesar 35 kA maka akan didapatkan grafik yang dapat dilihat pada Grafik 4.3 (Widhya Putra P, 2009).



Grafik 4.2 Tegangan Crossarm sebelum dan sesudah perbaikan pentanahan

Berdasarkan grafik yang ditampilkan, tegangan pada resistansi 33,1 Ω sebelum dilakukan perbaikan, di mana tegangan crossarm dengan efek korona adalah 1533,7 kV, sedangkan tanpa memperhitungkan efek korona adalah 1493,715 kV (Syakur & Yuningtyastuti, 2006). Tegangan pada resistansi 7,489 Ω setelah perbaikan berdasarkan perhitungan (hasil simulasi), di mana tegangan crossarm dengan efek korona adalah 1508,4 kV, dan tanpa korona adalah 1438,829 kV. Tegangan pada resistansi 5,2 Ω setelah perbaikan aktual di lapangan, di mana tegangan crossarm dengan korona adalah 1505,9 kV, dan tanpa korona adalah 1433,947 kV (Rahmono et al., 2019).

Sehingga Grafik 4.3, menunjukkan bahwa tegangan yang telah dilakukan perbaikan tahanan pentanahan berupa pemanjangan batang elektroda akan menghasilkan perubahan tegangan yang cukup signifikan pada tegangan crossarm yang tanpa memperhitungkan efek korona (Rarun et al., n.d.).

Sedangkan perhitungan yang terjadi pada tegangan crossarm dengan efek korona, sebelum dan sesudah dilakukan perbaikan tahanan pentanahan, nilai tegangan crossarm masih terlalu tinggi dan efek korona ini menyebabkan peningkatan tegangan sebesar 30-60 kV di tiap scenario (Said Akhmad, 2021).

Setelah Perbaikan Secara Perhitungan (7,489 Ω): Setelah resistansi grounding diperbaiki (secara perhitungan simulasi), tegangan crossarm dengan efek korona masih di atas tegangan lompat api, tetapi tanpa efek korona sudah mendekati tegangan lompat api (1438,829 kV). Ini menunjukkan bahwa perbaikan secara teoretis sudah cukup baik, tetapi efek korona masih menjadi faktor risiko (Hafizh & Farisi, 2017).

Setelah perbaikan real di lapangan (5,2 Ω): Tegangan crossarm setelah perbaikan di lapangan lebih rendah dibandingkan skenario sebelumnya, namun tegangan crossarm dengan efek korona masih sedikit melebihi tegangan lompat api. Namun, jika efek korona diabaikan, tegangan crossarm sudah berada di bawah ambang batas (1433,947 kV), menunjukkan peningkatan yang signifikan dalam hal perlindungan terhadap back flashover (Oktaviani & Hati, 2019).

Dengan demikian, efek korona memberikan kontribusi yang nyata pada peningkatan tegangan crossarm, yang berpotensi memperburuk risiko back flashover. Ini terlihat pada semua skenario, terutama sebelum perbaikan, di mana tegangan crossarm jauh melebihi aman (tegangan lompatan api) (Mahira et al., 2024).

Perbaikan resistansi pentanahan berhasil diturunkan dari 33,2 Ω ke 5,2 Ω , tegangan crossarm berhasil diturunkan mendekati atau bahkan di bawah tegangan lompat api, terutama jika efek korona dapat diminimalkan. Ini menandakan bahwa perbaikan grounding efektif dalam mengurangi risiko back flashover.

Meskipun perbaikan grounding signifikan, efek korona tetap menjadi faktor penting yang harus diperhatikan karena dapat membuat tegangan crossarm tetap berada di atas batas lompat api (Cholil et al., 2018).

Namun secara keseluruhan, perbaikan grounding telah berhasil menurunkan risiko back flashover, tetapi mitigasi tambahan untuk mengurangi efek korona masih diperlukan untuk perlindungan yang optimal (Niã et al., 2017).

KESIMPULAN

Berdasarkan analisis dan simulasi yang dilakukan, kesimpulannya adalah sebagai berikut: 1) Pada kondisi awal, nilai tahanan pentanahan mencapai 33,2 Ω yang melebihi standar nilai grounding dari IEEE Std 80-2000. Karakteristik arus sambaran diasumsikan berkisar antara 20 kA hingga 80 kA 2) Tegangan crossarm yang terjadi (apabila mengabaikan efek korona) mencapai 1493,715 kV dan Tegangan crossarm yang terjadi (apabila dengan efek korona) mencapai 1533,7 kV, ketika arus sambaran adalah 35 kA. Nilai ini melebihi batas tegangan lompatan api yaitu 1440,439 kV, sehingga mengindikasikan potensi terjadinya back flashover. 3) Setelah dilakukan perbaikan

dengan menambah panjang elektroda pentanahan sepanjang 20 meter nilai resistansi baru yang diperoleh sesuai dengan standar grounding dari IEEE Std 80-2000 menjadi 7,489 Ω dan pada pengukuran aktual tercatat sebesar 5,20 Ω . Hasilnya, tegangan crossarm turun (apabila mengabaikan efek korona) dari 1493,715 kV menjadi 1438,829 kV dan 1433,947 kV pada arus sambaran 35 kA, namun pada hasil tegangan crossarm (apabila dengan efek korona) tidak mengalami penurunan ke batas tegangan lompatan api, di mana tegangannya adalah 1508,4 kV dan 1505,9 kV. Tegangan crossarm yang memperhitungkan efek korona masih berada di atas tegangan lompat api, bahkan setelah perbaikan. Efek korona memberikan kontribusi nyata terhadap peningkatan tegangan, dengan perbedaan sebesar 30-60 kV di tiap skenario.

REFERENSI

- (Persero), P. P. (2014). *Buku Pedoman Saluran Udara Tegangan Tinggi Dan Ekstra Tinggi (Sutt/Sutet)*.
- Belhadj, C. A., Dawoud, M. M., Maalej, N., Habiballah, I. O., & Abdel-Galil, T. K. (2008). Electric & magnetic field assessment for live-line workers next to A 132 KV transmission line conductor. *2008 IEEE/PES Transmission and Distribution Conference and Exposition: Latin America, T and D-LA, August 2015*. <https://doi.org/10.1109/TDC-LA.2008.4641840>
- Cholil, A. A., Setiyoko, A. S., & Sa'diyah, A. (2018). Evaluasi Dan Perancangan Spp Eksternal Dan Internal Berdasarkan Sni 03-7015-2004 Dan Sni Iec 62305-2009 (Studi Kasus Pabrik Gula Sidoarjo). *Proceeding 2nd Conference On Safety Engineering*, 2(1), 217–222. <https://journal.ppns.ac.id/index.php/seminarK3PPNS/article/view/693>
- Dewi, A. Y., Warmi, Y., Peprizal, P., & ... (2020). Studi Pengaruh Back Flashover Pada Saluran Transmisi 150 kV Payakumbuh-Koto Panjang. *Ensiklopedia of ...*, 2(3), 270–274.
- Erhaneli, Zuriman Anthony, & Vandheska, R. (2022). Analisis Jumlah Gangguan Petir Akibat Back flashover Dengan Metode Hilemen Pada SUTT 150 kV Gardu Induk Payakumbuh-Koto Panjang. *Jurnal Teknik Elektro Institut Teknologi Padang*, 11(2), 58–63. <https://jte.itp.ac.id/index.php/jte/article/view/712>
- Fathudin, A., Tua, S. M., & Gunawan, H. (2017). Evaluasi Sistem Penangkal Petir Di Gedung Radiometalurgi. *Jurnal Hasil-Hasil Penelitian EBN*, 2(1), 247–258.
- Hadi Sirad, M. A., & Taha, S. (2018). Optimasi Kinerja Jaringan Transmisi 150 Kv Menggunakan Simulasi Geographic Information System Akibat Back Flashover Pada Pltu Jeneponto. *Patria Artha Technological Journal*, 2(2), 109–116. <https://doi.org/10.33857/patj.v2i2.143>
- Hafizh, A., & Farisi, A. L. (2017). *Evaluasi Sistem Penangkal Petir Eksternal Pada Gedung Perkuliahan*.
- Harijanto, P. S., & Prasetyo, B. E. (2023). Analisa Proteksi Gangguan Petir Pada SUTT 70 KV Antara GI Kebonagung - Polehan. *Elposys: Jurnal Sistem Kelistrikan*, 10(1), 13–18. <https://doi.org/10.33795/elposys.v10i1.975>
- Lembang, N., Manjang, S., & Kitta, I. (2018). The Effect of Grounding Resistance about Back Flashover on 150 KV Transmission Network in Main Station of Sungguminasa - Tallasa (Makassar). *Journal of Physics: Conference Series*, 1090(1). <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1090/1/012077>
- Luntungan, R. P., Patras, L. S., & MCh Mangindaan, G. (2018). Analisa Daerah Lindung dan Grounding Pada Tower Transmisi Akibat Terjadinya Back Flashover. *Jurnal Teknik Elektro Dan Komputer*, 7(3), 199–206.
- Mahira, A., Widyanto, A. N., Husnayain, F., & Fitri, I. R. (2024). Evaluasi Sistem Proteksi Petir Eksternal pada Bangunan Pusat Perbelanjaan Studi Kasus Gedung XYZ. *Cyclotron*, 7(02), 60–67. <https://doi.org/10.30651/cl.v7i02.23283>
- Matlab, Faruq, F., Said, M., Hernawati, L., & Fisika. (2014). *Simulasi Gelombang Berjalan*

- Dengan Menggunakan Software Matlab Versi 7.14. 1, 18–27.
- Niâ, M., Setiyoko, A. S., & Riantini, R. (2017). Evaluasi dan Perancangan Sistem Proteksi Petir Internal dan Eksternal Divisi Fabrikasi Baja pada Perusahaan Manufaktur. *Conference on Safety ...*, 2581, 309–313. <https://journal.ppns.ac.id/index.php/seminarK3PPNS/article/view/114%0Ahttps://journal.ppns.ac.id/index.php/seminarK3PPNS/article/download/114/75>
- Oktaviani, W. A., & Hati, I. P. (2019). Efektifitas Perlindungan Kawat Tanah Jaringan SUTM 20 kV Gardu Induk Boom Baru Palembang. *PROtek : Jurnal Ilmiah Teknik Elektro*, 6(2), 85–89. <https://doi.org/10.33387/protk.v6i2.1234>
- Prasetyo, T. (2021). *Analisis Pemeliharaan Tiga Level Inspeksi Lightning Arrester Bay Jajar 2 Di Gardu Induk 150 Kv Gondangrejo*. 2–3.
- Putra, Y. K. (2017). *Analisis Kemampuan Peetahanan Menara SUTT Terhadap Sambaran Petir Langsung Yang Mengakibatkan Backflashover Pada Saluran Transmisi 150 KV Ponorogo – Manosrejo*.
- Rahmono, B. C., Kurnianto, R., & Gani, U. A. (2019). Studi Perhitungan Tegangan Back Flashover Di Terminal Isolator Pada Sutet 275 Kv Bengkayang-Mambong Akibat Sambaran Petir Langsung. *Jurnal Elektro Untan*, 1(1), 1–10. <https://jurnal.untan.ac.id/index.php/jteuntan/article/view/32006>
- Rarun, W. P., Patras, L. S., Tumaliang, H., Elektro, T., Sam, U., Manado, R., & Manado, J. K. B. (n.d.). *Analisis Grounding Pada Tower Transmisi 150 kV Untuk Mencegahnya Terjadinya Back Flashover di Jalur Lopana – GIS Teling*.
- Rika Widianita, D. (2023). Sistem Perawatan Korektif Jaringan 20KV Di PT Bukit Asam. *AT-TAWASSUTH: Jurnal Ekonomi Islam*, VIII(I), 1–19.
- Said Akhmad, S. (2021). *Proceeding Seminar Nasional Teknik Elektro Dan*.
- Sitorus, Henry B. H., Diah Permata, E. S. (2008). Pengaruh Sambaran Petir Terhadap Sistem Proteksi Pada Tower BTS (Base Transceiver Station). *Electrician*, 2(1), 1–10.
- Stud, P. (2014). *Analisa Pengaruh Tegangan Lebih pada Peralatan Gardu Induk 150 KV Sibolga*.
- Syakur, A., & Yuningtyastuti. (2006). Sistem Proteksi Penangkal Petir Pada Gedung Widya Puraya. *Transmisi*, 11, 35–39.
- Toyib, M. Zainuddin, Rusdiansyah, Bustani, & La Bima. (2023). Jarak Penempatan Lightning Arrester sebagai Pelindung Transformator terhadap Tegangan Lebih pada Gardu Induk 150 Kv Harapan Baru. *Mutiara : Jurnal Ilmiah Multidisiplin Indonesia*, 1(2), 164–185. <https://doi.org/10.61404/jimi.v1i2.68>
- Wibowo, I. E., Assaffat, L., & Prasetyo, M. T. (2012). Evaluasi Perlindungan Gardu Induk 150 Kv Pandean Lamper Di Trafo III 60 Mva Terhadap Gangguan Surja Petir. *Media ElektriKa*, 5(2), 27–41. <https://jurnal.unimus.ac.id/index.php/ME/article/view/642>
- Widhya Putra P. (2009). Evaluasi Sistem Proteksi Petir Pada Base Tranceiver Station (BTS). *Evaluasi Sistem Proteksi Petir Pada Base Tranceiver Station (Bts) Skripsi*, 92.

Copyright Holder:

© Tun Sri Rajunul Muha et al., (2024)

First Publication Right :

© Bulletin of Community Engagement

This article is under:

CC BY SA