

Analisis Back Flashover Akibat Sambaran Petir Pada SUTT 150 kV Sawahan - Krembangan

Baris 1: Penulis Pertama (Style Author)
Baris 2: Departemen atau Jurusan atau Program Studi
Baris3: Institusi atau Instansi
Baris4: Kota, Negara
Baris5: alamat@email

Baris 1: Penulis Kedua (Style Author)
Baris 2: Departemen atau Jurusan atau Program Studi
Baris 3: Institusi atau Instansi
Baris 4: Kota, Negara
Baris 5: alamat@email

Baris 1: Penulis Ketiga (Style Author)
Baris 2: Departemen atau Jurusan atau Program Studi
Baris 3: Institusi atau Instansi
Baris 4: Kota, Negara
Baris 5: alamat@email

Abstrak - Saluran Udara Tegangan Tinggi (SUTT) memiliki peran penting dalam sistem transmisi tenaga listrik, namun sangat rentan terhadap gangguan eksternal, terutama sambaran petir. Salah satu dampak yang sering terjadi adalah *back flashover*, yaitu loncatan tegangan dari tanah atau menara ke konduktor fasa akibat tegangan lebih yang melebihi kemampuan isolator. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis potensi terjadinya back flashover serta mengevaluasi zona perlindungan pada kawat tanah di jalur SUTT 150 kV Sawahan – Krembangan, khususnya pada menara nomor 8, 9, dan 10. Metode yang digunakan meliputi pengumpulan data spesifikasi tower, isolator, tahanan pentanahan, dan data sambaran petir, serta perhitungan tegangan transien dan zona perlindungan dengan pendekatan trigonometri.

Hasil analisis menunjukkan bahwa tegangan lebih akibat sambaran petir pada ketiga menara masih berada di bawah nilai Basic Impulse Insulation Level (BIL) isolator, sehingga tidak memicu terjadinya back flashover. Evaluasi zona perlindungan juga memperlihatkan bahwa kawat tanah mampu mencakup area konduktor dengan sudut perlindungan yang masih sesuai standar. Dengan demikian, sistem proteksi petir pada jalur ini tergolong efektif. Penelitian ini diharapkan dapat memberikan rekomendasi teknis bagi PT PLN (Persero) dalam menjaga keandalan sistem transmisi serta menjadi referensi bagi pengembangan keilmuan di bidang teknik elektro.

Kata kunci: Back flashover, sambaran petir, zona perlindungan, tegangan lebih, SUTT 150 kV.

I. PENDAHULUAN (HEADING 1)

Energi listrik merupakan kebutuhan vital bagi seluruh sektor kehidupan, termasuk rumah tangga, industri, dan transportasi. Untuk menjaga kontinuitas pasokan energi listrik, sistem transmisi memiliki peranan penting dalam menyalurkan listrik dari pembangkit ke pusat-pusat beban. Di Indonesia, sistem transmisi umumnya menggunakan Saluran Udara Tegangan Tinggi (SUTT) yang mengandalkan struktur menara dan konduktor terbuka. Namun, SUTT sangat rentan terhadap gangguan eksternal seperti sambaran petir, terutama di wilayah tropis yang memiliki intensitas petir tinggi.

Salah satu gangguan yang kerap muncul akibat sambaran petir adalah *Back Flashover*, yaitu peristiwa loncatan tegangan balik dari tanah atau struktur menara ke konduktor fasa melalui isolator. Back flashover terjadi ketika tegangan lebih yang timbul akibat arus petir melebihi batas ketahanan isolator. Gangguan ini dapat menyebabkan kerusakan pada peralatan, pemadaman listrik, hingga gangguan sistem secara luas. Oleh karena itu, fenomena ini perlu dianalisis secara menyeluruh, terutama di jalur transmisi yang tergolong kritis seperti SUTT 150 kV Sawahan – Krembangan.

Untuk meminimalkan risiko sambaran langsung dan back flashover, digunakan sistem proteksi berupa kawat tanah (*ground wire*) yang dipasang di atas konduktor fasa. Efektivitas kawat tanah sangat bergantung pada zona perlindungan yang mampu dicakup olehnya. Zona perlindungan merupakan area di bawah kawat tanah yang dianggap aman dari sambaran petir langsung, dan ditentukan oleh sudut perlindungan atau metode seperti *rolling sphere*. Jika konduktor berada di luar zona ini, maka potensi terkena sambaran langsung dan risiko flashover semakin tinggi.

Analisis zona perlindungan menjadi penting untuk mengetahui apakah kawat tanah pada jalur SUTT telah dipasang dengan sudut dan tinggi yang optimal. Perhitungan zona perlindungan biasanya dilakukan dengan pendekatan geometri menggunakan rumus trigonometri, yang mempertimbangkan tinggi menara, jarak antar kawat, serta sudut pelindung maksimum 30°. Evaluasi zona ini dapat mengungkap apakah konduktor fasa sepenuhnya berada dalam cakupan proteksi, atau masih terdapat celah yang memungkinkan sambaran petir langsung.

Dalam penelitian ini, dilakukan analisis terhadap kondisi zona perlindungan pada menara nomor 8, 9, dan 10 di jalur SUTT 150 kV Sawahan – Krembangan. Selain itu, dihitung pula tegangan lebih akibat sambaran petir berdasarkan data intensitas petir, tahanan pentanahan, serta spesifikasi isolator yang digunakan. Hasil perhitungan akan dibandingkan dengan nilai Basic Insulation Level (BIL) untuk menilai apakah isolator mampu menahan tegangan lonjakan yang terjadi.

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan masukan teknis yang berguna bagi PT PLN (Persero) dalam meningkatkan sistem proteksi petir pada jaringan transmisi, khususnya dalam mendesain ulang zona perlindungan atau

menyesuaikan parameter pentanahan. Selain itu, hasil studi ini juga diharapkan menjadi referensi akademis bagi pengembangan keilmuan di bidang teknik elektro, khususnya dalam sub-bidang sistem tenaga dan proteksi terhadap gangguan eksternal

II. METODE (HEADING 1)

Metode yang dilakukan dalam penelitian ini diawali dengan mempersiapkan seluruh kebutuhan yang diperlukan untuk kelancaran pelaksanaannya. Tahap awal melibatkan studi literatur, yaitu mengumpulkan dan mempelajari berbagai referensi dari jurnal dan buku untuk memperkuat landasan teori dan pemahaman terhadap permasalahan yang diteliti. Setelah itu, dilakukan observasi langsung di Gardu Induk (GI) Transmisi Sawahan – Krebangan untuk memperoleh gambaran nyata kondisi lapangan. Observasi ini mencakup pengamatan langsung serta wawancara dengan petugas terkait guna menggali informasi yang mendukung penelitian.

Setelah studi literatur dan observasi lapangan, tahap selanjutnya adalah pengumpulan data. Data yang dikumpulkan meliputi berbagai aspek teknis, seperti spesifikasi tower (jenis, tinggi, jarak antar fasa, dan tegangan operasi), spesifikasi isolator (jenis, merek, dan jumlah keping), serta data pentanahan berupa nilai tahanan sistem grounding. Selain itu, dikumpulkan pula data sambaran petir yang mencakup jumlah kejadian sambaran serta kecuraman impuls petir, dan data BIL/TID isolator yang menunjukkan batas tegangan maksimum yang mampu ditahan sebelum terjadi flashover. Seluruh data ini menjadi dasar dalam menganalisis tegangan lebih petir.

A. Zona Perlindungan Pada Tower SUTT 150kV

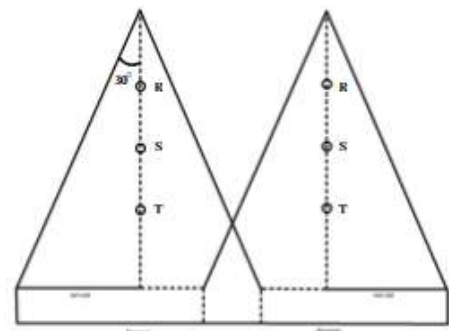
Gardu-gardu yang berada di dalam bangunan, lapangan terbuka, atau area serandang (switch-yard) memiliki potensi tinggi untuk tersambar petir. Oleh karena itu, diperlukan perlindungan khusus terhadap sambaran petir dengan memasang beberapa jenis peralatan. Batang tembaga atau kawat tanah pelindung berfungsi sebagai penangkap petir, yaitu menerima sambaran petir secara langsung. Umumnya, alat ini terbuat dari bahan logam seperti tembaga, aluminium, atau besi, dan dipasang dalam posisi tegak lurus di atas atau di sekitar bangunan, bisa juga berupa kawat pelindung. Suatu sistem proteksi dikatakan efektif jika dari 1000 kali sambaran petir, sebanyak 999 sambaran mengenai pelindung dan hanya 1 sambaran yang mengenai peralatan gardu, yang dikenal sebagai tingkat proteksi 0,1%. Secara umum, tingkat perlindungan 0,1% ini dapat dicapai dengan metode tertentu [2].

Pada umumnya perlindungan hantaran udara menggunakan kawat tanah. Metode ini merupakan metode perlindungan yang cukup efektif terhadap sambaran langsung ke kawat fasa. Selain itu, alternatif lain dapat juga digunakan, yakni hantaran udara tanpa kawat tanah tetapi harus dilengkapi dengan alat pelindung lain, yaitu protector tubes atau tabung pelindung. Teknologi ini hanya untuk hantaran udara <30 kV dan sudah jarang digunakan. [2].

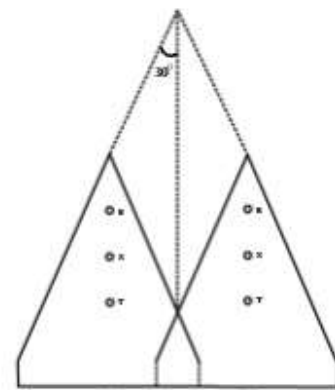
Proteksi dengan kawat tanah adalah metode perlindungan yang digunakan untuk melindungi sistem transmisi dan distribusi listrik dari dampak sambaran petir atau lonjakan tegangan (surja petir). Dalam sistem ini, kawat tanah (ground wire) dipasang di sepanjang saluran udara atau menara transmisi untuk mengalihkan arus petir yang menyambar ke tanah, sehingga tidak menyebabkan kerusakan pada komponen listrik penting seperti isolator dan kawat fasa.

Satu atau lebih kawat fasa dapat digunakan untuk perlindungan hal-hal berikut:

1. Dalam memilih kawat tanah, faktor mekanis lebih diutamakan dibandingkan faktor elektris. Kawat tanah harus memiliki kekuatan tarik yang tinggi dan tidak mudah terkorosi.
2. Berdasarkan hasil uji laboratorium dan pengalaman di lapangan, sudut perlindungan yang efektif untuk proteksi sambaran petir adalah dengan sudut perlindungan maksimal 30 derajat .[2]



Gambar 2.1 jari-jari satu *earth wire*



Gambar 2.2 jari-jari dua *earth wire*

Menentukan zona perlindungan pada Saluran Udara Tegangan Tinggi (SUTT) dapat dilakukan dengan menggunakan persamaan trigonometri dan rumus Pythagoras. Trigonometri digunakan untuk menentukan sudut perlindungan (θ) yang terbentuk antara kawat tanah dan penghantar utama. Persamaan dasar yang digunakan adalah:

$$\tan \theta = \frac{h}{d} \quad 2.3$$

di mana h adalah tinggi kawat tanah dari penghantar, dan d adalah jarak horizontal dari kawat tanah ke penghantar yang dilindungi.

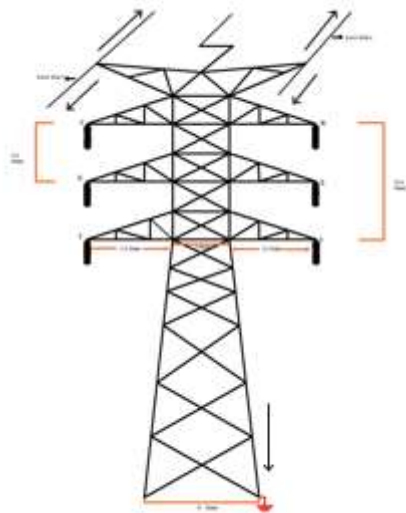
Sementara itu, rumus Pitagoras digunakan untuk menghitung jarak perlindungan atau radius zona perlindungan berdasarkan tinggi menara (h) dan jarak horizontal perlindungan (d) dengan persamaan :

$$r = \sqrt{h^2 + d^2} \quad 2.4$$

di mana r adalah jangkauan perlindungan yang menentukan area aman dari sambaran petir. Dengan kombinasi kedua persamaan ini, dapat dihitung zona perlindungan yang optimal untuk memastikan bahwa penghantar utama berada dalam cakupan perlindungan kawat tanah, sehingga risiko gangguan akibat sambaran petir dapat diminimalkan

B. Sambaran Pada Tower SUTT

Sambaran petir pada menara SUTT 150 kV terjadi karena posisinya yang tinggi dan mencolok, menyebabkan lonjakan tegangan yang dapat merusak isolator, transformator, dan pemutus sirkuit. Selain itu, sambaran petir juga dapat memicu flashover atau back flashover, yang berpotensi mengganggu kestabilan sistem kelistrikan. Untuk perlindungan, digunakan arrester dan grounding guna mengalihkan arus petir ke tanah, serta meningkatkan efektivitas isolasi untuk menjaga keandalan dan keselamatan sistem transmisi. [2]



Gambar 2.3 sambaran pada menara

Sambaran langsung pada menara akan menyebabkan terjadinya kenaikan tegangan yang dapat menyebabkan terjadinya back flashover (tegangan tembus balik)

$$V_M = (i_s \times R_E) + L \cdot \frac{di}{dt} \quad 2.1$$

Dimana :

V_M = Tegangan pada menara

i_s = Arus Petir

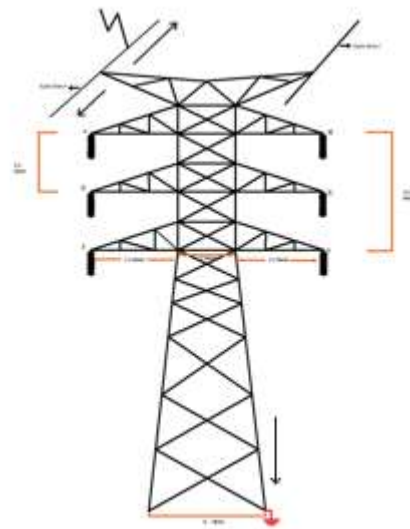
R_E = Tahanan Pentanahan

L = Induktansi Tower

$\frac{di}{dt}$ = Kecuraman Impuls Petir

C. Sambaran Pada Earth Wire

Jika petir menyambar transmisi dengan satu kawat penghantar, arus akan terbagi menjadi tiga bagian sesuai dengan impedansi antara kawat, tanah, dan menara. Arus yang melewati menara akan melalui induktansi menara (L). [2]



Gambar 2.4 sambaran pada earth wire[2]

Jika saluran transmisi menggunakan dua kawat penghantar, arus akan terbagi menjadi lima bagian, dan seterusnya. Meskipun arus puncak yang melalui menara akan memiliki amplitudo yang semakin kecil, laju perubahan arus $\frac{di}{dt}$ akan tetap konstan, sehingga tegangan yang muncul pada menara ($U = L \cdot \frac{di}{dt}$)

D. Kecuraman Impuls Petir

Kecuraman impuls petir adalah tingkat perubahan tegangan atau arus dalam waktu sangat singkat saat terjadi sambaran petir, yang dinyatakan dalam satuan kV/ μ s atau kA/ μ s. Nilai ini menunjukkan seberapa cepat impuls mencapai puncaknya dan sangat memengaruhi kemampuan isolator dalam menahan tegangan loncatan. Umumnya, bentuk gelombang petir direpresentasikan dengan standar impuls tegangan petir dengan waktu naik (t_1) berkisar antara 1 hingga 10 mikrodetik, dan waktu turun (t_2) antara 10 hingga 100 mikrodetik. Dimana $\frac{di}{dt}$ dapat dihitung menggunakan rumus berikut :

$$\frac{di}{dt} = \frac{I_2 - I_1}{t_2 - t_1} \quad 2.2$$

Dimana

I_2 = Arus Minimal

I_1 = Arus Maksimal

t_2 = Waktu Sesudah

t_1 = Waktu Puncak

III. HASIL DAN PEMBAHASAN (Heading 1)

A. Zona Perlindungan Pada SUTT

Analisis zona perlindungan bertujuan untuk mengetahui sejauh mana kawat tanah dapat melindungi konduktor fasa dari sambaran petir langsung pada jalur SUTT 150 kV Sawahan – Krembangan. Data yang digunakan dalam perhitungan zona perlindungan sebagai berikut :

Tegangan Operasi	: 150 kV
Tipe Tower	: Suspension
Isolator	: Keramik
Jarak Cross Arm	: 8 meter
Tinggi tower	: 33 meter
Sudut Perlindungan	: 30

Berdasarkan data tersebut, perhitungan zona perlindungan dilakukan menggunakan pendekatan sudut lindung dengan metode elektrogeometrik. Rumus yang digunakan adalah Rumus 2.3 untuk menghitung jari-jari zona lindung, yaitu:

- Perhitungan satu *Earth Wire*

Diketahui :

$$C : 33,3 \text{ m}$$

$$\theta : 30^\circ$$

Mencari jari-jari

$$\tan 30^\circ = \frac{a}{33,3}$$

$$0,57 = \frac{a}{33,3}$$

$$a = 0,57 \times 33,3$$

$$a = 18,9 \text{ m}$$

- Perhitungan dua *Earth Wire*

Diketahui

$$a : 18,9 \text{ m}$$

$$\text{Panjang Cross Arm} = 8 \text{ m} : 2 = 4 \text{ m}$$

$$\theta : 30^\circ$$

Mencari jari-jari

$$\tan 30^\circ = \frac{22,4}{c}$$

$$0,57 = \frac{22,4}{c}$$

$$c = \frac{22,4}{0,57}$$

$$c = 39,2 \text{ m}$$

Berikut tabel hasil perhitungan zona perlindungan tower SUTT 150 kV menunjukkan cakupan perlindungan kawat tanah dan menara terhadap sambaran petir berdasarkan tinggi pada Tower SUTT:

Tabel 2,1 Hasil Perhitungan zona perlindungan

No	Nama Tower	Perhitungan satu <i>Earth Wire</i> (m)		Perhitungan dua <i>Earth Wire</i> (m)	
		Tinggi	Jari-jari	Tinggi	Jari-jari
1	Tower	33,3	18,9	58,9	22,9

B. Kecuraman Impuls Petir

Data sambaran petir pada tahun 2024 digunakan untuk menganalisis gangguan yang dapat memicu terjadinya back flashover pada SUTT 150 kV. Informasi ini diperoleh dari laporan gangguan tahunan. Rincian data sambaran petir sepanjang tahun 2024 disajikan pada tabel berikut:

Tabel

No	Nama Tower	Count	Count (-)	Count (+)	Arus Sambaran Petir	
					Min kA	Max kA
1	Tower 8	52	44	8	-149	71
2	Tower 9	27	19	8	-149	71
3	Tower 10	28	21	7	-149	71

Berdasarkan data kecuraman impuls petir pada tower 8,9 dan 10 dilakukan perhitungan menggunakan persamaan sebagai berikut:

Diketahui :

$$I_2 = 71 \text{ kA}$$

$$I_1 = -149 \text{ kA}$$

$$t_2 = 10 \mu\text{s}$$

$$t_1 = 1 \mu\text{s}$$

Jawab :

$$\frac{di}{dt} = \frac{71 - (-149)}{10 - 1}$$

$$\frac{di}{dt} = \frac{220}{9}$$

$$\frac{di}{dt} = 24 \text{ kA}/\mu\text{s}$$

C. Sambaran Pada Tower SUTT 150kV

Dalam analisis ini, dilakukan perhitungan untuk menentukan besar tegangan back flashover (*back flashover voltage*) pada Saluran Udara Tegangan Tinggi (SUTT) 150 kV. Jika sambaran mengenai Tower SUTT dan terdapat dua earth wire maka arus dibagi menjadi lima.

- Beberapa data dari tower 8 yang digunakan dalam perhitungan meliputi:

$$\text{Arus Petir} : -149 \text{ kA}$$

$$\text{Tahanan Pentanahan} : 1.8 \Omega$$

$$\text{Induktansi Tower} : 30 \mu\text{H}$$

$$\text{Kecuraman Impuls Petir} : 24 \text{ kA}$$

Berdasarkan data tersebut maka tegangan pada tower sesuai Gambar 2.3 dapat dihitung menggunakan Persamaan (2.1):

$$V_M = (29,8 \times 1.8) + 30 \times 24$$

$$= 53,6 + 720$$

$$= 773,7 \text{ kV}$$

- Beberapa data dari tower 9 yang digunakan dalam perhitungan meliputi:

$$\text{Arus Petir} : -149 \text{ kA}$$

$$\text{Tahanan Pentanahan} : 1.4 \Omega$$

$$\text{Induktansi Tower} : 30 \mu\text{H}$$

$$\text{Kecuraman Impuls Petir} : 24 \text{ kA}$$

Berdasarkan data tersebut maka tegangan pada tower sesuai Gambar 2.3 dapat dihitung menggunakan Persamaan (2.1):

$$V_M = (29,8 \times 1.4) + 30 \times 24$$

$$= 41,7 + 720$$

$$= 761,7 \text{ kV}$$

- Beberapa data dari tower 10 yang digunakan dalam perhitungan meliputi:

$$\text{Arus Petir} : -149 \text{ kA}$$

$$\text{Tahanan Pentanahan} : 1.5 \Omega$$

$$\text{Induktansi Tower} : 30 \mu\text{H}$$

Kecuraman Impuls Petir : 24 kA

Berdasarkan data tersebut maka tegangan pada tower sesuai Gambar 2.3 dapat dihitung menggunakan Persamaan (2.1):

$$\begin{aligned}V_M &= (29,8 \times 0,5) + 30 \times 24 \\ &= 8,9 + 720 \\ &= 734,9 \text{ kV}\end{aligned}$$

D. Sambaran Pada Earth Wire

Dalam analisis ini, dilakukan perhitungan untuk menentukan besar tegangan back flashover (*back flashover voltage*) pada Saluran Udara Tegangan Tinggi (SUTT) 150 kV. Jika sambaran mengenai earth wire maka arus dibagi menjadi 3.

- Beberapa data dari tower 8 yang digunakan dalam perhitungan meliputi:

Arus Petir : -149 kA

Tahanan Pentanahan : 1.8 Ω

Induktansi Tower : 30 μH

Kecuraman Impuls Petir : 24 kA

Berdasarkan data tersebut maka tegangan pada tower sesuai Gambar 2.3 dapat dihitung menggunakan Persamaan (2.1):

$$\begin{aligned}V_M &= (74,5 \times 1,8) + 30 \times 24 \\ &= 134 + 720 \\ &= 854 \text{ kV}\end{aligned}$$

- Beberapa data dari tower 9 yang digunakan dalam perhitungan meliputi:

Arus Petir : -149 kA

Tahanan Pentanahan : 1.4 Ω

Induktansi Tower : 30 μH

Kecuraman Impuls Petir : 24 kA

Berdasarkan data tersebut maka tegangan pada tower sesuai Gambar 2.3 dapat dihitung menggunakan Persamaan (2.1):

$$\begin{aligned}V_M &= (74,5 \times 1,4) + 30 \times 24 \\ &= 104 + 720 \\ &= 824 \text{ kV}\end{aligned}$$

- Beberapa data dari tower 10 yang digunakan dalam perhitungan meliputi:

Arus Petir : -149 kA

Tahanan Pentanahan : 1.5 Ω

Induktansi Tower : 30 μH

Kecuraman Impuls Petir : 24 kA

Berdasarkan data tersebut maka tegangan pada tower sesuai Gambar 2.3 dapat dihitung menggunakan Persamaan (2.1):

$$\begin{aligned}V_M &= (22,3 \times 0,5) + 30 \times 24 \\ &= 757,2 + 720 \\ &= 757,2 \text{ kV}\end{aligned}$$

Berikut tabel hasil perhitungan tegangan back flashover berikut menyajikan data mengenai tegangan yang terjadi pada saluran transmisi akibat sambaran petir :

Tabel Hasil Perhitungan Tegangan Back Flashover

No	Nama Tower	Tegangan Back Flashover (kV)	
		Sambaran pada menara	Sambaran pada Earth Wire
1	Tower 8	773,7	854
2	Tower 9	761,7	824
3	Tower 10	734,9	757,3

KESIMPULAN

Adapun dari analisa dan pembahasan dari tugas akhir ini dapat diambil beberapa kesimpulan, antara lain:

1. Berdasarkan pada hasil perhitungan, dapat disimpulkan bahwa penggunaan dua Earth Wire memberikan perlindungan yang lebih optimal dibandingkan satu Earth Wire. Hal ini ditunjukkan oleh peningkatan tinggi pemasangan dari 33,3 m menjadi 58,9 m yang menghasilkan jari-jari zona perlindungan lebih besar, yaitu dari 18,9 m menjadi 22,9 m. Dengan demikian, konfigurasi dua kawat tanah lebih efektif dalam memperluas cakupan perlindungan terhadap sambaran petir pada tower SUTT.
2. Tegangan back flashover akibat sambaran petir pada Earth Wire tercatat sebesar 854 kV (Tower 8), 824 kV (Tower 9), dan 757,3 kV (Tower 10), sedangkan sambaran langsung pada menara menghasilkan tegangan sebesar 773,7 kV (Tower 8), 761,7 kV (Tower 9), dan 734,9 kV (Tower 10). Seluruh nilai tersebut masih berada di bawah Basic Insulation Level (BIL) isolator, sehingga tidak melebihi batas kemampuan isolator dalam menahan loncatan tegangan. Dengan demikian, sistem proteksi menggunakan Earth Wire terbukti efektif dalam mengurangi risiko gangguan akibat sambaran petir dan menjaga keandalan isolasi pada jaringan SUTT 150 kV.

Dari Analisa dan pembahasan tugas akhir ini terdapat beberapa saran yang akan disampaikan oleh peneliti, antara lain:

1. Lakukan pemeliharaan sistem pentanahan secara berkala agar nilai tahanannya tetap rendah.
2. Periksa kondisi isolator secara rutin untuk memastikan kemampuannya menahan tegangan lebih tetap optimal.
2. Evaluasi kembali zona perlindungan jika terjadi perubahan lingkungan sekitar jalur SUTT.
3. Untuk penelitian lanjutan, gunakan simulasi perangkat lunak agar hasil analisis lebih akurat.

UCAPAN TERIMA KASIH(Heading 5)

Penulis diijinkan menambahkan ucapan terima kasih jika diperlukan dan berkaitan dengan penelitiannya. Terima kasih disampaikan kepada pemberi dana penelitian.

REFERENSI (Heading 5)

- [1] [1] Septian Pramuditia Putra, "Fenomena Back Flashover Akibat Sambaran Petir Pada SUTT 150 kV Haurgeulis-Sukamandi#2," *Elposys: Jurnal Sistem Kelistrikan*, vol. 11, no. 2, pp. 116–121, 2024
- [2] [2] Prof. Dr. Reynaldo Zoro, *SISTEM PROTEKSI PETIR*, Edisi Revi. 2023.
- [3] [3] Ir. S. M. E. Suropto, "Sistem Tenaga Listrik," *ELTEK, Vol 11 Nomor 01*, pp. 1–293, 2017.
- [4] [4] Syafriyudin, "Tranmisi Daya Listrik," pp. 1–23, 2016
- [5] [5] T. Pada, S. Transmisi, and K. V Gi, *ANALISA RUGI-RUGI DAYA DAN REGULASI KRIAN-GI*

- [6] [6] PT. PLN (Persero), "Saluran Udara Tegangan Tinggi dan Ekstra Tinggi (SUTT/SUTET) PDM/ STT / 10 : 2014," vol. PDM/STT/10, p. 137, 2014,
- [7] [7] N. P. Skripsi, "Studi pengaruh nilai pentanahan kaki menara transmisi 150 kv terhadap jumlah gangguan akibat sambaran petir," 2018.
- [8] [8] A. Nurdin and A. Azis, "Pengaruh Jarak Antar Sub Konduktor Berkas Reaktansi Induktif Saluran Terhadap Transmisi 150 Kv Dari Gardu Induk Keramasan Ke Gardu Induk Mariana," *Jurnal Ampere*, vol. 3, no. 2, p. 145, 2018, doi: 10.31851/ampere.v3i2.2395.
- [9] [9] N. Hajar Saputro, "Analisa Perbaikan Pentanahan Kaki Menara Transmisi 150 kV Rembang-Blora Bertahanan Tinggi dan Usaha Menurunkannya," *Universitas Muhammadiyah Surakarta*, 2016
- [10] [10] D. E. Putra *et al.*, "1253-2340-1-Sm," vol. 3, no. 1, pp. 220–227, 2018.