

Analisis Shielding Failure Pada SUTT 150 kV Gandul-Serpong Menggunakan Metode Elektrogeometri

Andi Junaidi^{1*}; Tegar Achmad Yustiadi¹; Mauding Risma¹; Ari Nugroho¹

1. Institut Teknologi PLN, Menara PLN, Jl. Lingkar Luar Barat, Duri Kosambi, Cengkareng, Jakarta Barat, DKI Jakarta 11750, Indonesia

**Email: andi.junaidi@itpln.ac.id*

Received: 12 Februari 2025 | Accepted: 18 September 2025 | Published: 18 September 2025

ABSTRACT

High-voltage overhead transmission lines distribute electrical energy from one area to another. Therefore, if electricity transmission is disrupted, the distribution of electrical energy will be disrupted, causing power outages in these areas. Disturbances often encountered on transmission lines, especially overhead lines, are external disturbances from lightning strikes that hit the phase wire due to shielding failure. Shielding failure occurs because the ground wire cannot protect the phase wire against lightning strikes. This study aims to determine the reliability of shielding against lightning strikes and simulate shielding optimization. The electrogeometric method is implemented in a Python language program. The shield angle capability influences the maximum current magnitude of shield failure and unprotected area (Xs). Shield failure can result in lightning striking at a point on the transmission overhead line, which can cause Flashover on the high-voltage overhead line insulator. The factors that cause shielding failure are the shielding angle, peak lightning current and transmission tower design. After processing the shielding reliability data with the electrogeometric method, the existing tower needs to be redesigned to increase the reliability of lightning strikes on the transmission line.

Keywords: Ground Wire, Electrogeometry, Shielding Angle, Shielding Failure

ABSTRAK

Saluran udara tegangan tinggi berfungsi untuk menyalurkan energi listrik dari satu daerah ke daerah lain. Oleh karena itu, apabila transmisi listrik mengalami gangguan maka akan mengakibatkan proses penyaluran energi listrik terganggu sehingga menyebabkan pemadaman listrik di daerah-daerah tersebut. Gangguan yang sering ditemui pada saluran transmisi khususnya saluran udara adalah gangguan eksternal yang berasal dari sambaran petir yang mengenai kawat fasa akibat terjadinya kegagalan perisai (shielding failure). shielding failure terjadi karena kawat tanah tidak mampu untuk melindungi kawat fasa terhadap sambaran petir. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui keandalan perisai terhadap sambaran petir dan melakukan simulasi optimasi perisai. Metode yang digunakan adalah metode elektrogeometri yang di implemantasikan dalam program berbahasa python. Pada besar arus maksimum kegagalan perisai dan daerah tak terlindungi (Xs) dipengaruhi oleh kemampuan sudut perisai. Pada kegagalan perisai dapat mengakibatkan petir yang menyambar pada suatu titik saluran udara transmisi yang dapat menyebabkan terjadinya Flashover pada isolator saluran udara tegangan tinggi tersebut. Faktor yang menyebabkan kegagalan perisai adalah sudut lindung, besar arus puncak petir dan desain menara transmisi.. Setelah dilakukan pengolahan data keandalan perisai dengan metode elektrogeometri maka tower existing perlu dilakukan perancangan ulang guna meningkatkan keandalan sambaran petir pada saluran transmisi.

Kata kunci: Kawat Tanah, Elektrogeometri, Sudut Lindung, Kegagalan Perisai

1. PENDAHULUAN

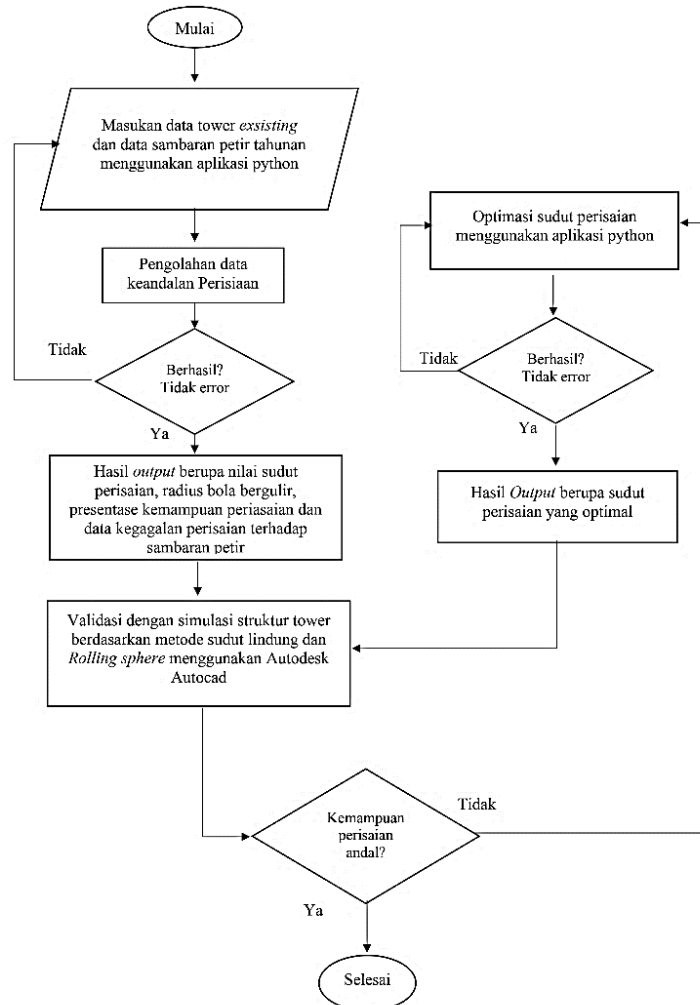
Saluran transmisi adalah media yang berfungsi untuk menyalurkan energi listrik dari pembangkit sampai menuju distribusi hingga ke pelanggan[1]. Saluran transmisi merupakan media yang penting dalam sistem tenaga listrik, karena transmisi dapat menyalurkan energi listrik dari satu daerah ke daerah lain yang jaraknya berkilo-kilometer. Oleh karena itu, apabila transmisi listrik mengalami gangguan maka akan mengakibatkan proses penyaluran energi mengalami kerusakan yang akan terjadinya pemadaman listrik di daerah-daerah tersebut serta untuk perbaikannya memerlukan waktu dan biaya yang besar. Gangguan yang sering ditemui pada saluran transmisi khususnya saluran udara adalah gangguan eksternal yang berasal dari sambaran petir. Petir adalah sebuah fenomena terjadinya loncatan listrik dari awan yang bermuatan listrik negatif ke awan yang bermuatan positif serta dapat mencapai bumi atau sebaliknya dengan tegangan yang sangat tinggi [2]. Indonesia adalah negara yang memiliki jumlah hari guruh yang tinggi, yaitu 200 hari guruh berbeda dengan negara-negara lain yang rata-rata hanya 60 sampai dengan 140 hari guruh[3]. Karena Indonesia memiliki hari guruh yang tinggi maka Indonesia memiliki tingkat kerawanan bahaya terhadap sambaran petir, dimana sambaran petir berpotensi besar untuk menyambar saluran udara transmisi. Saluran transmisi udara sering tersambar karena saluran udara memiliki konstruksi bangunan yang sangat tinggi sehingga potensi tersambar akan sering terjadi.

Saluran Udara Tegangan Tinggi (SUTT) 150 kV Gandul – Serpong adalah salah satu penghantar transmisi energi listrik yang memiliki sistem proteksi petir berupa kawat tanah. Pada SUTT 150 kV Gandul-Serpong mulai dari tahun 2018 sampai dengan tahun 2022 mengalami rata-rata 1 kali gangguan tiap tahun yang disebabkan oleh sambaran petir yang mengakibatkan terkendalanya penyaluran daya listrik[3]. Oleh karena itu, perlu adanya analisa untuk meningkatkan keandalan proteksi petir khususnya pada kawat tanah agar tidak terjadinya kegagalan perisaian yang menyebabkan gangguan pada transmisi. Salah satu langkah untuk meningkatkan keandalan kawat tanah maka perlu mengoptimalkan kemampuan proteksi kawat tanah, yaitu dengan menemukan sudut perisaian yang optimal. Cara untuk menemukan sudut perisaian adalah dengan melakukan penelitian menggunakan metode elektrogemetri. Metode Elektrogeometri adalah metode yang sering digunakan untuk mensimulasikan daerah proteksi serta dapat menghitung kegagalan perisaian dan biasa digunakan untuk menentukan sudut perisaian[4]. Parameter parameter untuk menganalisa dampak sambaran petir pada saluran transmisi diantaranya adalah bentuk gelombang arus petir, arus puncak sambaran petir pertama dan susulannya, I (kA), kecuraman arus, dan tingkat kejadian sambaran petir / kerapatan sambaran petir ke tanah (sambaran per km² per tahun)[5]–[7]. Pada penelitian ini yang berbeda dengan penelitian sebelumnya adalah menggunakan operasi perhitungan yang diimplementasikan dalam program bahasa Python yang sudah berbasis web, penelitian ini dapat membandingkan antara sudut perisaian yang optimal dan yang belum optimal, selain itu pada penelitian ini dapat menjelaskan dampak yang ditimbulkan apabila terjadi kegagalan perisaian pada suatu saluran transmisi khususnya Saluran Udara Tegangan Tinggi (SUTT) 150 kV Gandul-Serpong.

2. PERANCANGAN PENELITIAN

2.1. Desain Penelitian

Pada penelitian menggunakan data dari saluran udara tegangan tinggi (SUTT) 150 kV Gandul-Serpong yang merupakan salah satu aset saluran transmisi PT. PLN (persero) UPT Cawang yang memiliki panjang saluran 17 km dari Kecamatan Sawangan Kota Depok sampai dengan Kecamatan Gunung Sindur Kabupaten Tangerang. Pada penelitian ini, penulis mengumpulkan data dari Saluran Udara Tegangan Tinggi (SUTT) 150 kV Gandul-Serpong yang akan digunakan sebagai bahan penelitian penulis untuk dilakukan riset pada penelitian ini.



Gambar 1. Diagram Alir Penelitian

Penelitian ini dalam menganalisis data menggunakan hasil perhitungan dan Autodesk Autocad 2021. Berikut proses dalam menganalisis data[8]:

1. Menghitung sudut perisaian:

$$\alpha = \tan^{-1} \left(\frac{(P_{fasa} - P_{tanah})}{H_{Fasa-gsw}} \right) \quad (1)$$

Keterangan:

- P_{fasa} : Panjang lengan travers kawat fasa terluar (m)

- P_{tanah} : Panjang lengan traver kawat tanah (m)
- $H_{\text{fasa-gsw}}$: Tinggi antara kawat tanah dan fasa (m)

2. Menghitung Arus kegagalan perisian:

$$I_{sf} = \sqrt[0,8]{\left(\frac{R}{6,7}\right)} \quad (2)$$

Keterangan:

- R : Radius *rolling sphere* (m)
- I_{sf} : Arus kegagalan perisian (kA)

$$Z_c = 60 \ln \frac{2h}{r} \quad (3)$$

Keterangan:

- Z_c : Impedansi kawat fasa (Ω)
- h : Tinggi menara saluran udara (m)
- r : Jari-jari kawat fasa (m)

3. Lebar daerah yang tidak terlindungi

$$X_s = S (\cos \theta + \sin (\alpha - \omega)) \quad (4)$$

Keterangan:

- S : tinggi kawat fasa terhadap tanah (m)
- ω : sudut miring kawat tanah ($^\circ$)
- X_s : Daerah yang tak terlindungi (m)
- α : sudut lindung ($^\circ$)
- θ : sudut rasio antara tinggi fasa dan S ($^\circ$)

4. Tegangan Lompatan api

$$V_{50\%} = \left(K_1 + \frac{K_2}{t^{0.75}}\right) \times 10^3 \quad (5)$$

Keterangan:

- K_1 : konstanta 0,4 dikali panjang renteng isolator (m)
- K_2 : konstanta 0,71 dikali panjang renteng isolator (m)
- t : waktu tembus atau waktu lompatan api (μs)

5. Arus yang menyebabkan flashover akibat kegagalan perisaian

$$I_{\min} = \frac{2V_{50\%}}{Z_c} \quad (6)$$

6. Probabilitas arus sama atau melebihi $I_{\min}$ dan $I_{\max}$

$$P_{\min} = e^{-\frac{I_{\min}}{34}} \quad (7)$$

$$P_{\max} = e^{-\frac{I_{\max}}{34}} \quad (8)$$

7. Gangguan Petir karena kegagalan perisai

$$NSF = 0.015 \text{ IKL } X_s (P_{\min} - P_{\max}) \quad (9)$$

Keterangan:

- NSF : probabilitas gangguan akibat kegagalan perisain
- IKL : kerawanan petir suatu daerah (sambaran/km/tahun)

8. Tegangan pada suatu titik saluran kawat fasa adalah

$$V_{SF} = Z_C \frac{I}{2} \quad (10)$$

9. Menghitung sudut perisaian berdasarkan radius *rolling sphere*[5]

$$\alpha^{\circ} = \sin^{-1} \left(1 - \frac{h}{r} \right) \quad (11)$$

Keterangan:

- h = tinggi menara (meter)
- r = radius sambaran petir (meter)
- α° = Sudut lindung (derajat)

10. Menghitung penambahan panjang lengan travers berdasarkan sudut perisaian

$$\Delta P_{\text{gsw}} = P_{\text{fasa}} - P_{\text{gsw(Tfg)}} \cdot \tan(\alpha^{\circ}) \quad (12)$$

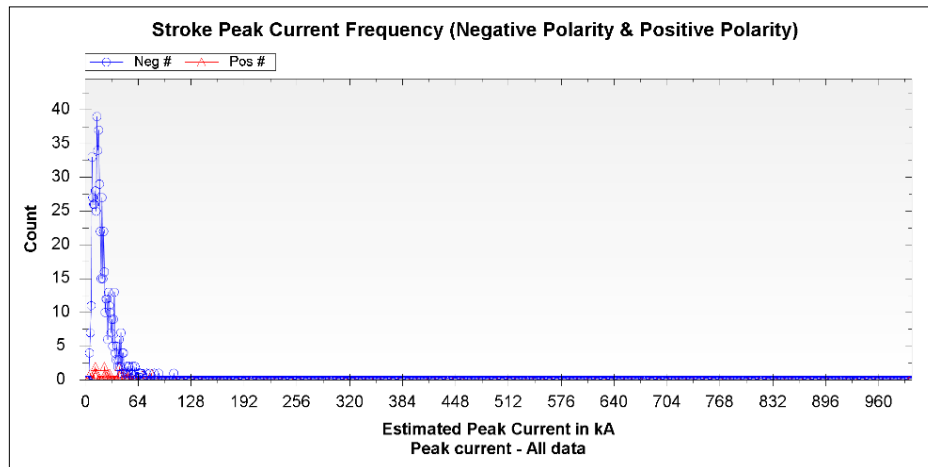
Keterangan:

- P_{fasa} = Panjang travers fasa (meter)
- P_{gsw} = Panjang travers kawat tanah (meter)
- α° = Sudut lindung (derajat)

Berdasarkan persamaan-persamaan di atas maka akan diimplementasikan dalam program yang akan mengolah data-data sebagai berikut:

Tabel 1. Data Spesifikasi Tower SUTT 150 kV Gandul Serpong

Data	Spesifikasi
Tinggi Tower	85,58 m
Tinggi Kawat Fasa	73,131 m
Panjang Travers Fasa	13,03 m
Panjang antar travers GSW	15,89 m
Tinggi antar kawat fasa dan GSW	12,454 m
Lebar kaki tower	17,3 m
Tahanan kaki tower	6,34 Ω
Panjang Isolator	2,04 m
Jumlah Isolator	12
BIL	1740 kV
Diameter GSW 70 mm ²	10,5 mm
Diameter kawat Fasa 410 mm ²	28,5 mm



Gambar 2. Data Petir Tahun 2022

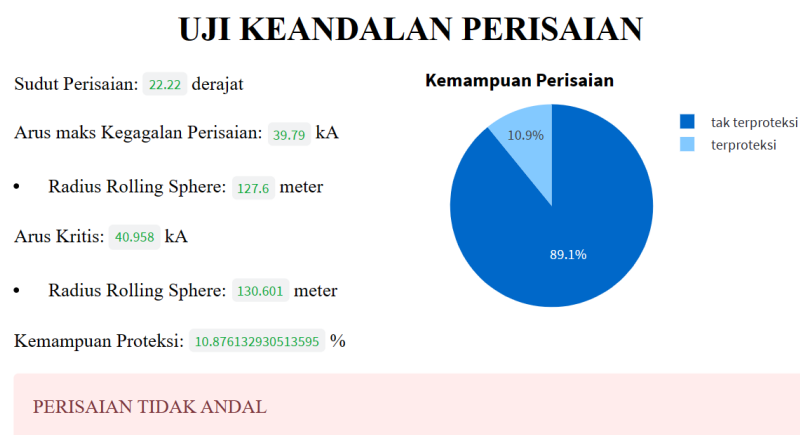
Pada data petir ini merupakan data petir yang terjadi sepanjang tahun 2022 pada SUTT 150 kV Gandul-Serpong. Rata-rata arus petir yang terjadi adalah sebesar 22,01 kA. Pada daerah tower tersebut memiliki *Isokeraunic Level* (IKL) sebesar 19,4 sambaran/km²/tahun.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Data-data tersebut dimasukkan ke dalam aplikasi berbasis web untuk dilakukan pengolahan data keandalan perisaian. Program dibuat berdasarkan klasifikasi teori provost[9] dan SPLN [10]

3.1. Uji Keandalan & Optimasi Perisaian

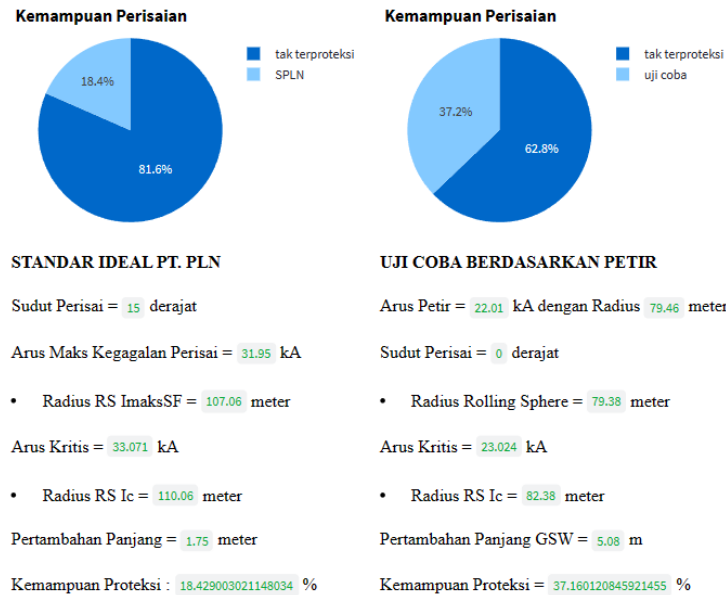
Setelah memasukkan data tower dan data sambaran petir tahunan pada aplikasi yang telah dibuat maka akan dilakukan uji keandalan perisaian yang akan mendapatkan hasil sebagai berikut:



Gambar 3. Hasil uji keandalan perisaian

Karena hasil sudut perisaian di bawah dari klasifikasi teori provost dan SPLN maka akan dilakukan optimasi perisain seperti berikut ini:

OPTIMASI PERISAIAN



Gambar 4. Uji keandalan dan Optimasi Perisaian

Lalu terakhir program akan menghasilkan tabel berupa rincian akibat kegagalan perisaian seperti gambar berikut ini;

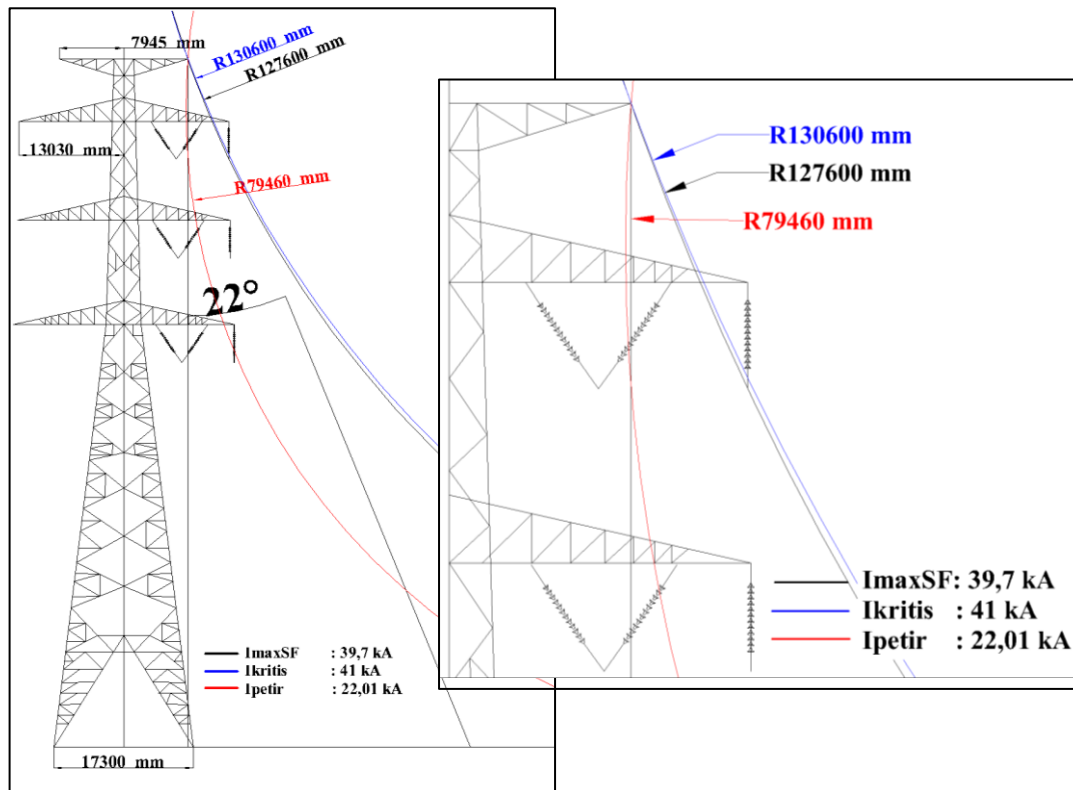
Tabel 2. Rincian Elektrogeometri Kegagalan Perisaian

	Sudut (°)	Xs (m)	Smaks (m)	ImaksSF (kA)	Gangguan Petir (saluran- tahun)	Vsf(kV)
Existing	22,2	8.26	127,49	39,78	1,3859	11025
SPLN	15	4,43	107,08	31,95	0,6391	8853
Uji Coba	0	0,26	79,36	21,98	0,0279	6090

Keterangan:

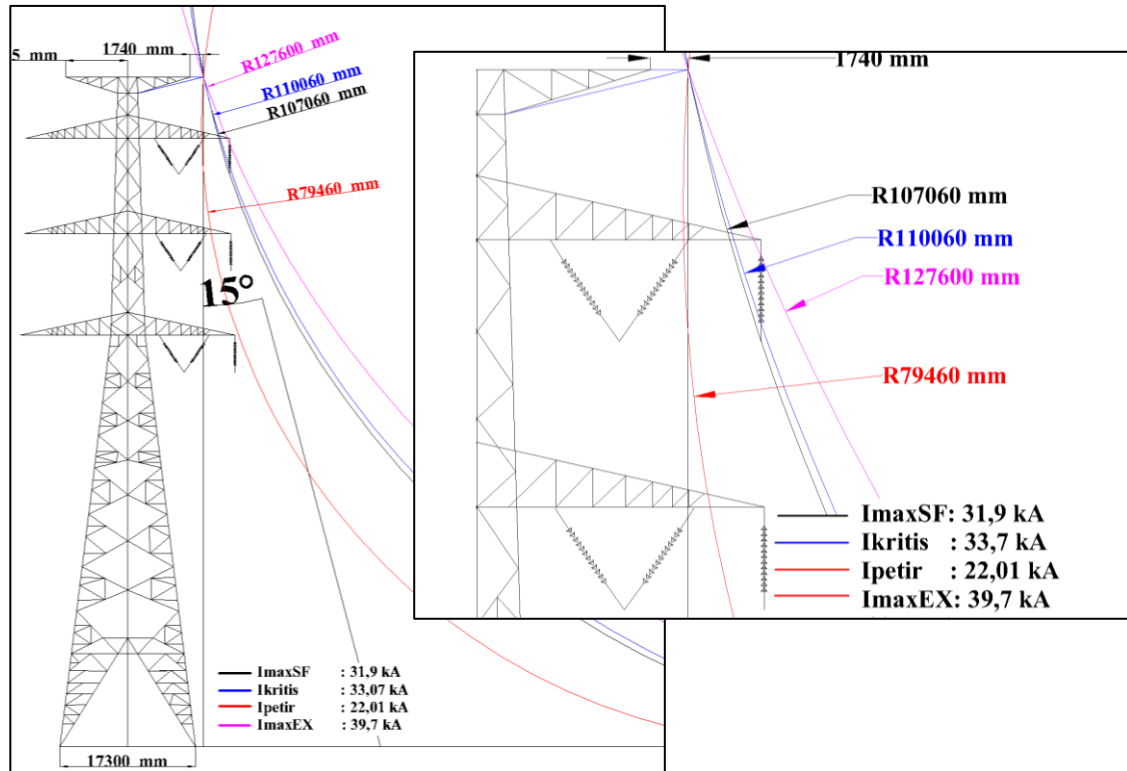
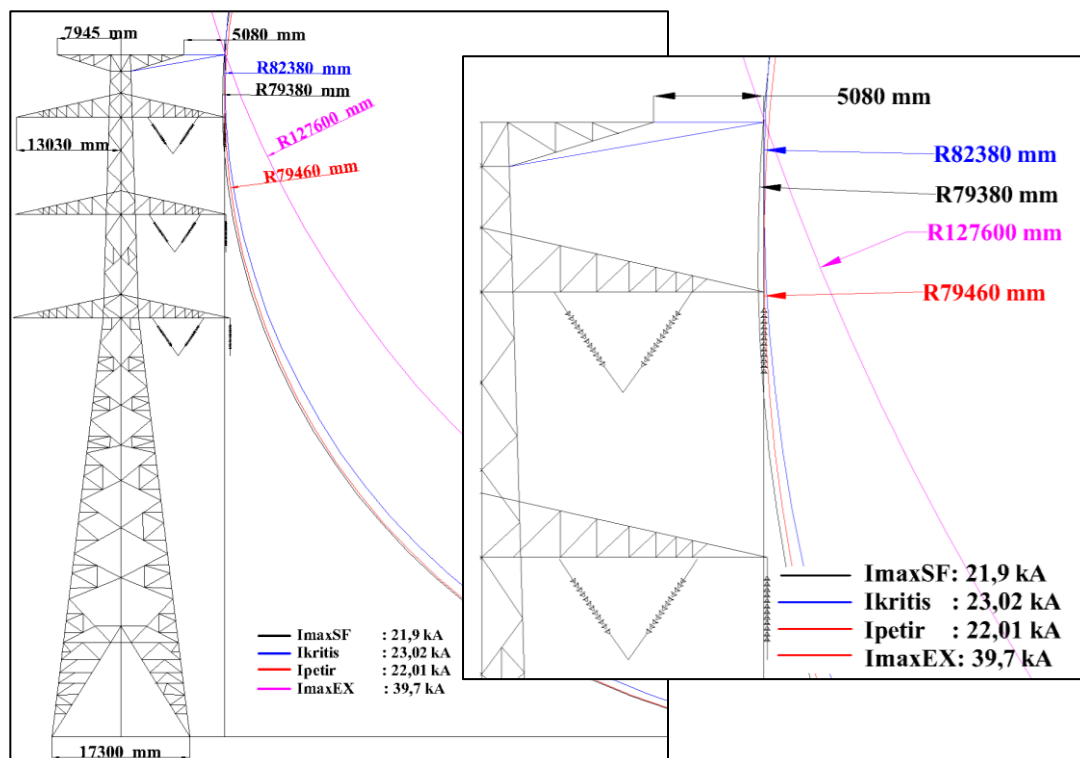
- Xs : Daerah yang tidak terlindungi kawat tanah terhadap kawat fasa (m)
- Smaks : Jarak sambaran maksimum untuk menyebabkan kegagalan perisaian (m)
- Imaks SF : Arus maksimum petir yang dapat menyebabkan kegagalan perisaian (kA)
- Gangguan petir (saluran/tahun) : Probabilitas gangguan petir akibat kegagalan perisaian
- Vsf : Tegangan yang timbul pada suatu titik saluran (kV)

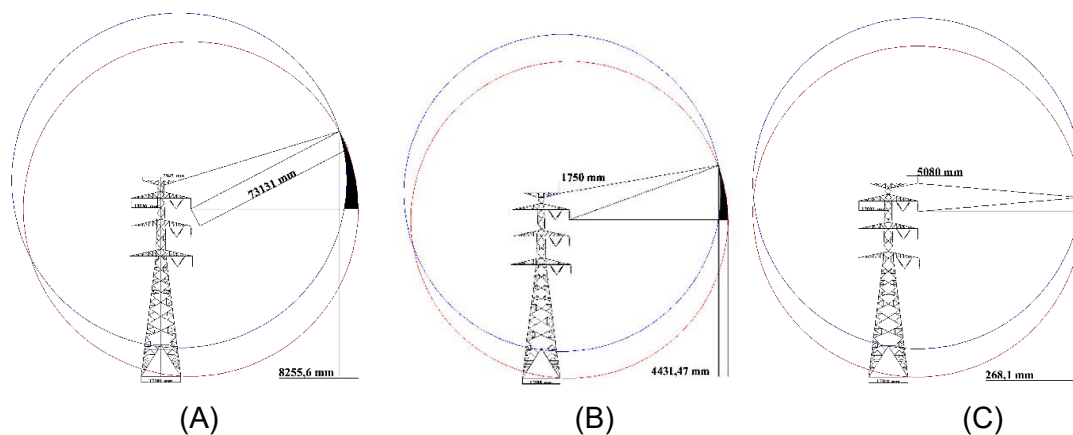
3.1.1. Validasi Elektroteometri



Gambar 5. Validasi *rolling sphere* sudut perisaian 22.2° (Existing)

Pada gambar 5. merupakan gambar tower transmisi dalam kondisi *existing* dimana ketika arus petir menyambar sebesar 22.01 kA.

Gambar 6. Validasi *rolling sphere* sudut perisaian 15°Gambar 7. Validasi *rolling sphere* sudut perisaian 0°



Gambar 8. Model Elektroteometri pada sudut perisaian (A) 22,2; (B) 15°; (C) 0°

3.2. PEMBAHASAN

Pada keandalan proteksi *existing* tower T.222 SUTT 150 kV Gandul serpong mendapatkan hasil bahwa perisaian tidak handal. Hasil tidak handal tersebut berdasarkan teori provost dan standar PLN T5.004.2010, dimana nilai sudut lindung tidak melebihi batas nilai sudut lindung minimum sebesar 18 derajat. Pada hasil pengolahan data keandalan perisaian *existing* memiliki arus kegagalan perisaian maksimum sebesar 39,79 kA yang mana di bawah dari nilai arus petir rata-rata yang ada pada data sambaran petir sehingga kemampuan proteksinya sangat tidak baik. berdasarkan hasil validasi dengan menggunakan Autodesk Autocad mendapatkan hasil yang mana sudut perisaian 22,2 derajat tidak dapat melindungi arus petir gangguan sebesar 22,01 kA. Sehingga dari gambar tersebut daerah radius *rolling sphere* mengenai kawat fasa penghantar 1 dan hingga isolator kawat fasa penghantar 2. Besar radius *rolling sphere* berpengaruh pada kemampuan proteksi kawat tanah, dimana besar radius *rolling sphere* sebelum optimasi tower T.222 SUTT 150 kV Gandul-Serpong memiliki radius *rolling sphere* sebesar 127,6 meter yang mana lebih kecil dari radius *rolling sphere* arus petir gangguan 22,01 kA sebesar 79,46 meter, dimana nilai radius RS arus petir gangguan jauh lebih kecil sehingga dapat mengenai kawat fasa atau *shielding failure*.

Pada gambar 5 sudut *existing* terdapat arus kritis yang berwarna biru pada gambar *rolling sphere*. Arus kritis adalah batas sebelum terjadinya kegagalan perisai, dimana pada gambar dapat dilihat bahwa arus kritis yang dimiliki menara saluran udara tersebut sebesar 41 kA, dimana apabila sambaran petir memiliki arus di bawah 41 kA akan menyebabkan kegagalan perisaian pada kawat tanah terhadap kawat fasa. Lalu berdasarkan arus petir rata-rata sebesar 22,01 kA akan menyebabkan kegagalan perisaian karena dibawah nilai arus kritis menara tersebut dan dapat dilihat pada gambar 8 lingkaran arus petir rata-rata mengenai kawat penghantar terluar fasa R dan S pada saluran udara tersebut. Oleh karena itu, sudut yang tidak andal akan dilakukan optimasi untuk mendapatkan nilai sudut lindung optimal. Berikut adalah hasil pengolahan data sebelum dan sesudah optimasi keandalan perisaian.

Tabel 4. Perbandingan Sebelum dan Sesudah Optimasi Keandalan Perisaian

	Klasifikasi Objek	Sudut Lindung (°)	Radius <i>Rolling Sphere</i> (m)	I max Sf (kA)	Kemampuan Proteksi (%)	Pertambahan Panjang Travers GSW (m)
Sebelum	<i>Existing</i>	22,2	127,66	39,7	10,9 %	-
Sesudah	SPLN	15	107,06	31,95	18,4 %	1,74
	Uji Coba	0	79,38	21,97	37,2 %	5,08

Berdasarkan tabel di atas setelah dilakukan optimasi menggunakan SPLN dan uji coba berdasarkan arus petir gangguan bahwa pada optimasi berdasarkan SPLN dengan menggunakan peraturan tersebut harus memiliki sudut lindung sebesar 15° sehingga untuk mengubah sudut lindung suatu tower maka diperlukan penambahan panjang lengan travers kawat tanah, dimana untuk mengubah sudut lindung 22 derajat menjadi 15 derajat dengan menambahkan panjang lengan travers kawat tanah sebesar 1,74 meter dan untuk mengubah menjadi sudut 0 derajat dengan menambahkan panjang lengan travers kawat tanah sebesar 5,08 meter. Penambahan panjang lengan travers tersebut sudah di validasi dengan menggunakan Autodesk Autocad bahwa sudut lindung yang diinginkan sudah sesuai dengan penambahan lengan panjang travers kawat tanah. Pada tabel perbandingan sebelum dan sesudah optimasi tersebut bahwa setelah dilakukan optimasi dengan klasifikasi SPLN dan Uji coba yang mana pada SPLN masih tidak mampu memproteksi rata-rata arus petir gangguan sebesar 22,01 kA. Pada SPLN bahwa saluran udara tegangan tinggi 150 kV harus memiliki sudut perisaian minimal 15 derajat. Namun, berdasarkan sudut perisaian 15 derajat tidak memiliki kemampuan proteksi yang andal, dimana arus kegagalan perisaian maksimum yang di miliki hanya 31,95 kA yang mana jauh dari rata-rata arus petir yang terjadi pada daerah saluran udara tersebut.

Pada gambar 6 berdasarkan metode *rolling sphere* bahwa besar radius *rolling sphere* rata-rata arus petir mengenai penghantar terluar kawat fasa R dan S. oleh karena itu, dapat dianalisis bahwa sudut perisaian berdasarkan SPLN masih belum andal dalam memproteksi petir. Lalu, berdasarkan parameter arus kritis yang berwarna biru juga dapat dilihat bahwa nilai arus kritis yang dimiliki sudut perisaian 15° sebesar 33,7 kA masih memiliki selisih dengan arus rata-rata petir yang terjadi, yaitu sebesar 11,69 kA sehingga pada sudut perisaian 15° kawat tanah tidak dapat melindungi kawat fasa dengan baik sehingga akan terjadi kegagalan perisaian. Namun, terdapat perbedaan kemampuan antara sudut perisaian 15° dan 22,2°, dimana terjadi peningkatan kemampuan perisaian kawat tanah yang dapat dilihat pada gambar bahwa pada arus petir 39,7 kA tidak akan terjadi kegagalan perisaian kembali pada saat sudut perisaian 15°. Sedangkan, pada hasil uji coba berdasarkan arus rata-rata gangguan petir didapatkan nilai sudut perisaian 0 derajat. Pada sudut perisaian 0 derajat memiliki kemampuan proteksi 37,2% dari data rata-rata arus petir yang pernah terjadi pada tahun 2022. Hal ini karena pada sudut perisaian sebesar 0 derajat memiliki arus maksimum kegagalan perisaian yang lebih kecil dibandingkan beberapa data rata-rata arus petir sehingga cukup dapat memproteksi dari arus rata-rata petir tersebut. Pada gambar 6 membuktikan bahwa sudut 0 derajat dapat melindungi dari arus petir yang memiliki radius rolling 79,4 meter, dimana *rolling sphere* tersebut tidak mengenai kawat fasa penghantar terluar. lalu, pada parameter arus kritis yang berwarna biru pada gambar di atas memiliki nilai arus kritis sebesar 23,03 kA yang

mana arus kritis yang dimiliki sudut perisaian 0° adalah arus kritis yang paling kecil dimiliki oleh ketiga objek penelitian sehingga sudut perisaian ini merupakan sudut perisaian yang paling andal dibandingkan kedua objek sudut lainnya. Lalu, nilai arus kegagalan perisaian maksimum (ISFmax) sudut perisaian 0° adalah sebesar 21,9 kA yang mana memiliki selisih ISFmax sebesar 17,8 kA sehingga terbukti kemampuan perisaian 0° mengalami pengkitan yang sangat signifikan. Oleh karena itu, dapat dianalisis bahwa pada objek dengan sudut perisaian 0 derajat memiliki kemampuan melindungi yang optimal dari sambaran petir sehingga alangkah baiknya tower SUTT 150 kV Gandul-Serpong mengubah sudut lindung menjadi 0 derajat.

Pada tabel 3 perbandingan dari sebelum dan sesudah di optimasi dapat dilihat bahwa sudut lindung suatu tower sangat berpengaruh dalam kemampuan proteksi kawat tanah dari sambaran petir. Berdasarkan tabel perbandingan tersebut sudut perisaian juga mempengaruhi besar radius rolling sphere, dimana sudut lindung berbanding lurus dengan besar radius rolling sphere. Lalu, radius *rolling sphere* tersebut mempengaruhi besar nilai arus petir yang dapat diterima oleh kawat tanah, dimana radius *rolling sphere* tersebut merupakan penggambaran dari besar daerah sambaran petir yang akan menyambar pada daerah tower tersebut. Oleh karena itu, sudut lindung sangat berpengaruh dalam melindungi objek yang diinginkan dalam hal ini kawat fasa, dimana sudut lindung berbanding lurus dengan besar arus maksimum kegagalan perisaian dan arus kritis. Berdasarkan analisis tersebut disarankan untuk memperbaiki sudut lindung dengan menggunakan sudut lindung optimal 0 derajat untuk meningkatkan kemampuan proteksi saluran udara tegangan tinggi 150 kV Gandul-Serpong sehingga tidak akan sering menyebabkan gangguan penyaluran daya listrik akibat sambaran petir. Berdasarkan hasil tabel 2 sudut perisaian dapat mempengaruhi daerah proteksi, arus maksimal kegagalan perisaian (I_{maks}), dan radius *rolling sphere* (S_{maks}). Semakin sudut perisaian optimal maka daerah yang tidak terlindungi oleh kawat tanah (X_s) akan semakin mendekati 0 meter. Hal ini karena apabila terjadi sambaran petir yang mengenai daerah yang tak terlindungi kawat tanah (seperti pada gambar di bawah yang ditandai oleh warna hitam). maka arus petir yang menyambar tersebut tidak akan diproteksi oleh kawat tanah sehingga sambaran tersebut akan mengenai kawat fasa yang bisa di sebut sebagai peristiwa kegagalan perisaian. Pada gambar 5 dapat dilihat bahwa pada sudut lindung 22° memiliki daerah tak terlindungi (X_s) yang paling besar dibandingkan dengan ketiga objek sudut perisaian hal ini yang dapat menyebabkan meningkatnya gangguan yang akan terjadi dalam saluran udara. Pada daerah tak terlindungi tersebut membuktikan bahwa semakin keil arus kegagalan perisaian dibandingkan dengan arus kritis maka akan menyebabkan kegagalan perisaian. Oleh karena itu perlu, mengurangi daerah tak terlindungi (X_s) dengan menggunakan sudut paling optimal. Berdasarkan perbandingan ketiga sudut perisaian terhadap daerah tak terlindungi membuktikan bahwa semakin kecil nilai daerah tak terlindungi maka semakin kecil juga nilai arus yang dapat menyebabkan kegagalan perisaian sehingga akan mengurangi terjadinya gangguan yang menyebabkan terkendalanya penyaluran daya listrik akibat sambaran petir. Lalu, terbukti pada kegagalan maksimum perisaian dan arus kritis nilai dari ketiga sudut perisaian tersebut bahwa sudut 0° memiliki nilai arus kegagalan maksimum dan arus kritis paling rendah dibandingkan dari ketiga objek sudut perisaian tersebut. Pada tabel rincian elektromeometri tersebut juga menjelaskan bahwa sudut perisaian *existing* juga memiliki nilai probabilitas gangguan petir sepanjang saluran tiap tahun yang paling besar dibandingkan ketiga objek sehingga dapat dilihat bahwa semakin nilai X_s mendekati nilai 0

maka gangguan yang terjadi sepanjang saluran udara tiap tahun akan semakin sangat jarang kejadian sambaran petir yang menyebabkan gangguan. Pada saat terjadi kegagalan perisaian akan menimbulkan tegangan yang akan terbaca oleh isolator sehingga dapat menimbulkan peristiwa *flashover*

4. KESIMPULAN DAN SARAN

Pada besar arus maksimum kegagalan perisaian dan daerah tak terlindungi (Xs) dipengaruhi oleh kemampuan sudut perisaian. Kegagalan perisaian dapat mengakibatkan sistem terganggu karena petir akan menyambar kawat fasa pada saluran transmisi tegangan tinggi. faktor yang mempengaruhi kegagalan perisaian adalah besarnya sudut lindung, arus puncak petir, dan desain menara transmisi. Setelah dilakukan pengolahan data, keandalan perisaian dengan metode elektrogeometri didapat bahwa kondisi desain *existing* belum handal sehingga perlu dilakukan redesain untuk mengoptimasi perlidungan kawat fasa terhadap sambaran petir dengan menambah panjang lengan travers kawat tanah pada tower transmisi sepanjang 5.08 meter.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada PT. PLN (persero) UIT JBB dan Institut Teknologi PLN yang telah memberi dukungan yang membantu pelaksanaan penelitian dan atau penulisan artikel.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] E. Erhaneli and A. Afriliani, "Analisa Pengaruh Perilaku Petir pada Saluran Udara Tegangan Tinggi (SUTT) 150 kV Menggunakan Metode Burgsdorf," J. Tek. Elektro ITP, vol. 7, no. 1, pp. 29–34, 2018, doi: 10.21063/jte.2018.3133705.
- [2] R. Zoro, Sistem Proteksi Petir pada sistem Tenaga Listrik, 1st ed. Bandung: PT. Remaja Rosdakarya, 2018.
- [3] T. Gunawan and L. N. L. Pandiangan, "Analisis Tingkat Kerawanan Bahaya Sambaran Petir Dengan Metode Simple Additive Weighting Di Provinsi Bali," J. Meteorol. dan Geofis., vol. 15, no. 3, 2014, doi: 10.31172/jmg.v15i3.221.
- [4] P. Hashemian, B. Vahidi, and A. Rahiminezhad, "Improved electro-geometric model for shielding failure analysis of transmission lines," IET Sci. Meas. Technol., vol. 12, no. 4, pp. 542–547, 2018, doi: 10.1049/iet-smt.2017.0423.
- [5] A. Junaidi, Z. Adzis, D. Setiawan, and A. Yogiarto, "Lightning Protection System for High Voltage Transmission Line 150 kV with Isolation Coordination Method," Proc. - 2023 Int. Conf. Networking, Electr. Eng. Comput. Sci. Technol. IConNECT 2023, pp. 82–86, 2023, doi: 10.1109/IConNECT56593.2023.10326856.
- [6] A. Junaidi, "Analisa Surja Petir Menggunakan Elektromagnetik Transien Program Pada Saluran Udara Tegangan Tinggi," Kilat, vol. 10, no. 2, pp. 359–369, 2021, doi: 10.33322/kilat.v10i2.1450.
- [7] A. Junaidi and R. Zoro, "Lightning performance analysis of extra high voltage 500 Kv 2 circuits and 4 circuits in Sumatera," Int. Conf. High Volt. Eng. Power Syst. ICHVEPS 2017 - Proceeding, vol. 2017-Janua, no. 2, pp. 372–376, 2017, doi: 10.1109/ICHVEPS.2017.8225873.
- [8] T. S. Hutaeruk, Gelombang Berjalan dan Proteksi Surja, 2nd ed. Jakarta: Erlangga, 1991.

- [9] T. S. Hutaaruk, "Metode Untuk Menghitung Gangguan Kilat Pada Kawat Transmisi Tegangan Tinggi," p. 157, 1964.
- [10] S. T5.004:2010, "Kriteria Desain Tower Rangka Baja (Latticed steel Tower) Untuk Saluran Udara Tegangan Tinggi dan Saluran Udara Tegangan Ekstra Tinggi." PT. PLN, Jakarta, 2010.