

Perlindungan Tower Terhadap Gangguan Petir Pada SUTT 150 KV Star-Rawalo-Majenang

Bekti Faozi Firansyah¹, Tri Watiningsih², Dody Wahjudi³1,2,3,*^{*)} Program Studi Teknik Elektro, Universitas Wijayakusuma Purwokerto, Indonesia

Article Info**Article history:**

Received: 13 Januari 2026

Received in revised form: 15

Januari 2026

Accepted: 20 Januari 2026

Available online: 20 Januari 2026

Keywords:

Tower

SUTT

MDG

Lightning

Disturbance

Kata Kunci:

Tower

SUTT

MDG

Petir

Gangguan

ABSTRACT

PROTECTION OF TRANSMISSION TOWERS AGAINST LIGHTNING DISTURBANCES ON THE 150 KV STAR-RAWALO-MAJENANG OVERHEAD TRANSMISSION LINE. As A Tropical Country, Indonesia Frequently Experiences Extreme Weather, One Of Which Is Lightning, Which Has The Potential To Harm Humans And Electrical Infrastructure, Particularly On High Voltage Overhead Lines (Sutt). Sutt Play A Crucial Role In The Distribution Of Electrical Energy, But Are Vulnerable To Natural Disturbances That Are Difficult To Control. Lightning Strikes Can Damage Equipment And Reduce System Reliability, Necessitating Effective Protection, Such As Grounding Towers, To Channel Lightning Currents To The Ground. The Research Phase Began With A Literature Review, Examining Theories, Standards, And Previous Research Related To Grounding Systems And Lightning Protection On Transmission Lines. Next, Field Data Was Collected, Including Data On Lightning Disturbances On Sutt, The Existing Condition Of Tower Grounding Systems, And The Types Of Protection Installed. Afterward, Grounding Resistance Measurements Were Conducted On Several Towers To Determine The Quality Of The Existing Grounding System. The Results Showed That The Multi-Direct Grounding Method, With An Average Resistance Value Of 2.89 Ω On The 150 Kv Star-Rawalo-Majenang Sutt, Met Standards And Was Proven Effective In Protecting Towers From Lightning Disturbances, Minimizing The Risk Of Damage Due To Back Flashover, And Improving Transmission System Reliability

Indonesia Sebagai Negara Tropis Kerap Menghadapi Cuaca Ekstrem, Salah satunya Petir Yang Berpotensi Membahayakan Manusia Dan Infrastruktur Kelistrikan, Terutama Pada Saluran Udara Tegangan Tinggi (Sutt). Sutt Berperan Penting Dalam Pendistribusian Energi Listrik, Namun Rentan Terhadap Gangguan Alam Yang Sulit Dikendalikan. Sambaran Petir Dapat Merusak Peralatan Dan Menurunkan Keandalan Sistem, Sehingga Diperlukan Proteksi Efektif Seperti Grounding Tower Untuk Menyalurkan Arus Petir Ke Tanah. Tahapan Penelitian Diawali Dengan Studi Literatur, Yaitu Mempelajari Teori, Standar, Dan Penelitian Terdahulu Terkait Sistem Pentanahan Dan Proteksi Petir Pada Saluran Transmisi. Selanjutnya Dilakukan Pengumpulan Data Lapangan Berupa Data Gangguan Petir Pada Sutt, Data Kondisi Eksisting Sistem Grounding Tower, Serta Jenis Proteksi Yang Telah Terpasang. Setelah Itu, Dilakukan Pengukuran Resistansi Pentanahan (*Grounding Resistance*) Pada Beberapa Tower Untuk Mengetahui Kualitas Sistem Pentanahan Yang Ada. Hasil Penelitian Menunjukkan Bahwa Metode *Multi Direct Grounding* Dengan Nilai Tahanan Rata-Rata 2,89 Ω Pada Sutt 150 Kv Star-Rawalo-Majenang Memenuhi Standar Dan Terbukti Efektif Dalam Melindungi Tower Dari Gangguan Petir, Meminimalisir Risiko Kerusakan Akibat *Back Flashover*, Serta Meningkatkan Keandalan Sistem Transmisi.

Corresponding author:

Tri Watiningsih

Program Studi Teknik Elektro Universitas Wijayakusuma Purwokerto

Jalan Beji Karangsalam, Kecamatan Kedungbanteng, Banyumas, Jawa Tengah, 53152, Indonesia.

E-mail addresses: triwatiningsih@unwiku.ac.id

1. Pendahuluan/Introduction

Indonesia, sebagai negara tropis yang kaya akan sumber daya alam, sering kali menghadapi tantangan cuaca ekstrem seperti hujan, angin puting beliung, dan petir. Fenomena cuaca ekstrem ini dapat berdampak serius pada lingkungan, negara, dan masyarakat [1], [2]. Petir, sebagai salah satu fenomena cuaca ekstrem, menjadi perhatian khusus di Indonesia karena dapat membahayakan manusia dan infrastruktur kelistrikan, terutama pada Saluran Udara Tegangan Tinggi (SUTT) [3], [4], [5].

SUTT memainkan peran penting dalam sistem pendistribusian energi listrik di Indonesia, yang mencakup jaringan transmisi dengan berbagai tingkat tegangan, seperti SUTET 500/275 kV, SUTT 150/70 kV, Jaringan Tegangan Menengah 20 kV, dan Tegangan Rendah 220 V [1]. Infrastruktur ini sangat penting untuk mengirimkan energi listrik ke berbagai wilayah di Indonesia. Sistem transmisi tenaga listrik rentan terhadap berbagai gangguan, baik dari alam, peralatan, manusia, hewan, pembangkit listrik, distribusi, maupun pihak lain [2], [3]. Gangguan-gangguan ini dapat menyebabkan hambatan dalam proses pengiriman energi listrik ke pelanggan [4]. Di Indonesia, jaringan listrik yang terbuka dan terpapar langsung dengan lingkungan membuat sistem transmisi lebih rentan terhadap gangguan, terutama yang disebabkan oleh alam, termasuk sambaran petir [5], [6]. Sifat gangguan alam yang tidak dapat dikendalikan oleh manusia menambah kompleksitas mengelola sistem transmisi listrik di Indonesia [7].

Sambaran petir pada jaringan instalasi listrik dapat menyebabkan kerusakan parah pada peralatan dan mengganggu keandalan sistem. Hal ini berkaitan erat dengan fenomena *direct lightning strike*, *backflashover*, serta karakteristik impedansi pentanahan tower [8], [9], [10]. Oleh karena itu, diperlukan sistem proteksi yang efektif untuk meminimalisir dampak sambaran petir. Salah satu metode yang digunakan untuk melindungi gangguan akibat petir pada saluran transmisi adalah dengan melakukan grounding tower atau pembumian kaki menara [11], [12]. Metode

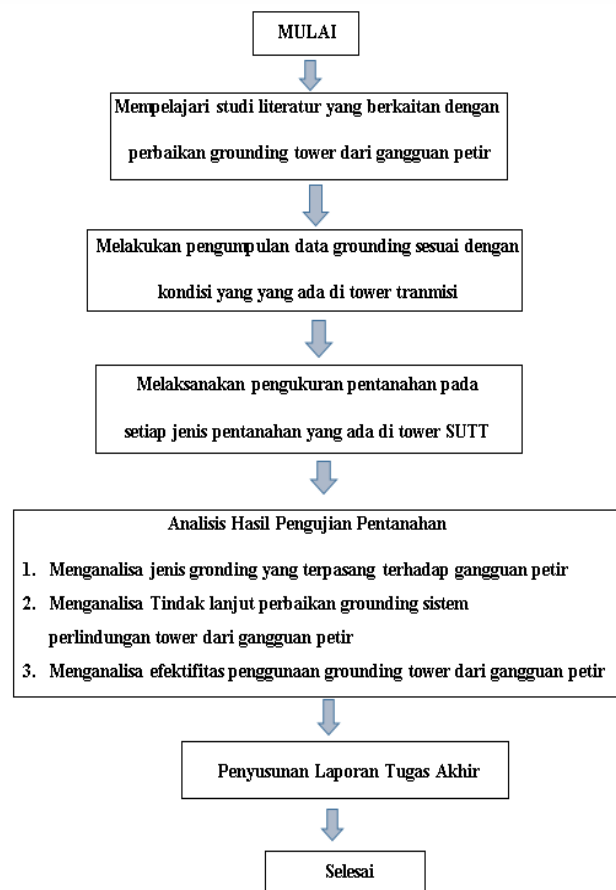
ini dapat mengurangi risiko sambaran petir dan melindungi kawat fase dengan mengalirkan arus petir ke tanah melalui impedansi yang rendah [13], [14], [15].

Gangguan petir sering terjadi di wilayah kelistrikan PT PLN (Persero) UPT Purwokerto ULTG Purwokerto, khususnya di Gardu Induk 150 kV STAR pada penghantar STAR-Rawalo-Majenang. Fenomena ini menyebabkan proses penyaluran tenaga listrik terganggu dan memicu operasi *reclose* pada peralatan pemutus tenaga (PMT), sejalan dengan laporan fenomena serupa pada sistem transmisi 150 kV di berbagai penelitian sebelumnya [14], [16], [17]. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk menganalisis perbaikan grounding tower guna mengurangi gangguan akibat petir pada saluran udara tegangan tinggi penghantar STAR-Rawalo-Majenang [18], [20], [21].

Dengan menganalisis perbaikan grounding tower, diharapkan kemampuan sistem dalam mengalirkan arus petir ke tanah dapat meningkat, sehingga mampu mengurangi risiko kerusakan pada peralatan dan gangguan pada proses penyaluran tenaga listrik. Hal ini sejalan dengan rekomendasi teknis grounding dan mitigasi *backflashover* pada jaringan transmisi yang telah dibahas dalam literatur internasional dan nasional [8], [9]

2. Metode Penelitian

Sebagai upaya untuk memastikan bahwa proses penelitian berjalan secara terstruktur dan sistematis, diperlukan suatu alur kerja yang menggambarkan setiap tahapan secara berurutan. Penyajian diagram alir penelitian memungkinkan pembaca memahami hubungan logis antar langkah yang ditempuh, mulai dari tahap persiapan hingga analisis akhir. Selain itu, flowchart membantu memperjelas metodologi yang digunakan serta memudahkan replikasi penelitian pada studi serupa di masa mendatang. Oleh karena itu, keseluruhan tahapan penelitian yang dilaksanakan dalam studi ini dirangkum dalam diagram alir yang disajikan pada Gambar 2.1 berikut.



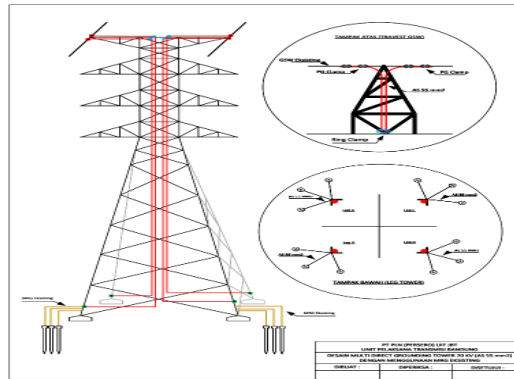
Gambar 2.1 Tahapan Penelitian

3. Hasil dan Pembahasan/ Result and Discussions

3.1 Kebutuhan Penyaluran Transmisi

Permintaan energi listrik terus meningkat dari tahun ke tahun seiring dengan bertambahnya fasilitas publik, pertumbuhan penduduk, serta perkembangan sektor industri. Kondisi ini menuntut ketersediaan pasokan listrik yang andal dan berkesinambungan, sehingga peran Gardu Induk menjadi sangat penting dalam menjaga stabilitas penyaluran tenaga listrik. Pada wilayah kerja UPT Purwokerto, tingkat keandalan jaringan transmisi dinilai melalui frekuensi gangguan dan durasi pemadaman yang terjadi, sehingga pengelolaan sistem harus dilakukan secara cermat untuk meminimalkan potensi gangguan [22].

Gardu Induk 150 kV STAR Rawalo-Majenang berfungsi untuk menerima dan menyalurkan energi listrik dari Sub Sistem Pedan melalui jaringan transmisi SUTT 150 kV Rawalo dan SUTT 150 kV Majenang. Susunan aliran tenaga listrik pada gardu induk tersebut ditunjukkan melalui diagram garis tunggal pada Gambar 3.1, yang menggambarkan konfigurasi sistem transmisi 150 kV dalam menunjang proses penyaluran energi listrik.



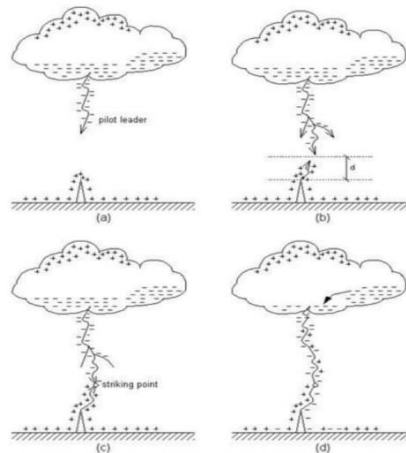
Gambar 3.1 MDG Diagram GI 150 kV STAR Rawalo-Majenang

3.2 Kondisi Geografis SUTT 150kV STAR Rawalo-Majenang

Jalur transmisi SUTT 150 kV STAR Rawalo-Majenang melintasi wilayah dengan karakteristik geografis beragam, mulai dari dataran rendah, lahan pertanian, hingga area perbukitan. Sebagian wilayah yang dilalui memiliki kontur tanah berlereng dan rawan longsor pada musim hujan, sehingga pemilihan lokasi dan fondasi tower harus memperhatikan faktor keselamatan, stabilitas tanah, serta kemudahan akses. Vegetasi yang lebat di beberapa segmen turut menjadi tantangan dalam pemeliharaan jaringan, karena dapat mengganggu keandalan pasokan listrik apabila tidak dikelola secara rutin [23].

Tower transmisi yang digunakan merupakan struktur baja tipe *lattice* bertegangan 150 kV, dengan variasi tipe C dan D untuk lintasan normal serta tipe S pada tikungan. Ketinggian tower berkisar 30-50 meter menyesuaikan kondisi topografi, dengan jarak span rata-rata 300-400 meter. Konduktor yang digunakan adalah ACSR 240 mm², dilengkapi *ground wire* dan OPGW sebagai media proteksi dan komunikasi. Secara keseluruhan, jalur ini memiliki panjang sekitar 45 km, dimulai dari GI STAR Rawalo menuju GI Majenang, melintasi sejumlah kecamatan di Kabupaten Banyumas dan Cilacap serta beberapa infrastruktur seperti sungai besar dan jalan utama.

Secara meteorologis, jalur transmisi berada di kawasan dataran rendah pesisir selatan dengan curah hujan tinggi, menjadikannya area yang rentan terhadap sambaran petir. Fenomena petir pada jaringan transmisi dapat memicu lonjakan tegangan impuls melebihi *Basic Insulation Level* (BIL), baik melalui sambaran langsung pada konduktor maupun sambaran tidak langsung yang menghasilkan induksi elektromagnetik. Mekanisme dasar perambatan arus petir tersebut ditunjukkan pada Gambar 3.2.



Gambar 3.2 Tahapan Sambaran Petir ke Tanah

SUTT 150 kV Rawalo-Majenang memiliki total 73 tower terdiri dari 25 tipe *tension* dan 48 tipe *suspension*. Usia peralatan yang semakin tua meningkatkan risiko gangguan, sehingga pemeliharaan berkala menjadi penting untuk menjaga keandalan sistem. Berdasarkan data UPT Purwokerto, jalur ini termasuk yang paling sering mengalami gangguan, terutama pada musim hujan ketika intensitas petir meningkat. Sambaran petir menyebabkan terjadinya *trip* atau *reclose* pada Pemutus Tenaga (PMT), yang berfungsi memutus aliran listrik saat terjadi gangguan untuk mencegah kerusakan lebih lanjut. Kondisi geografis yang rentan sambaran petir membuat jalur transmisi ini memerlukan perhatian lebih dalam perawatan sistem proteksi untuk meminimalkan gangguan berulang.

3.3 Analisis Perlindungan Tower pada SUTT 150kV Rawalo-Majenang

Sistem transmisi SUTT 150 kV Rawalo-Majenang dilindungi oleh sistem pentanahan yang berfungsi menyalurkan arus petir ke tanah sehingga mengurangi risiko kerusakan pada tower maupun peralatan transmisi. Keberadaan sistem pentanahan menjadi sangat penting karena sambaran petir merupakan salah satu sumber gangguan terbesar pada jaringan transmisi. Mengacu pada ketentuan SKDIR 520 PT PLN (Persero), batas maksimum nilai tahanan pentanahan ditetapkan sebagai berikut [19] SUTT 70 kV = $\leq 5 \Omega$. Dalam pemasangan elektroda batang, diperlukan perancangan desain yang matang, serta perhitungan nilai tahanannya agar sesuai standar, yaitu di bawah 10 Ohm untuk SUTT 150 kV. Di samping itu, beberapa metode sistem pentanahan diterapkan pada jalur SUTT 150

kV Rawalo-Majenang untuk meminimalisir gangguan akibat sambaran petir. Informasi detail mengenai data sistem pentanahan ditampilkan pada Tabel berikut:

Tabel 3.1 Frekuensi Gangguan Petir

No	Penghantar	Jumlah Gangguan					Penyebab Gangguan	Kondisi PMT	
		2020	2021	2022	2023	2024			2025
1	SUTT Star-Rawalo 1	1	1	0	1	2	0	Petir	Reclose
2	SUTT Star-Rawalo 2	0	0	1	1	0	0	Petir	Reclose
3	SUTT Star-Majenang 1	2	2	1	4	3	2	Petir	Reclose
4	SUTT Star-Majenang 2	2	3	1	3	1	1	Petir	Reclose
Total Gangguan		5	6	3	9	6	3		

Tabel 3.1 memperlihatkan variasi frekuensi gangguan petir pada penghantar SUTT di jalur Rawalo-Majenang selama periode 2020-2025. Pada SUTT Star-Rawalo 1, gangguan tercatat stabil sebanyak 1 kali pada tahun 2020-2021, menurun pada 2022, lalu kembali meningkat menjadi 2 kali pada 2024. SUTT Star-Rawalo 2 menunjukkan frekuensi gangguan yang lebih rendah, hanya terjadi sekali pada tahun 2022 dan 2023.

Sementara itu, SUTT Star-Majenang 1 memiliki tingkat gangguan lebih tinggi, dengan puncaknya pada 2023 sebanyak 4 kali. Pada SUTT Star-Majenang 2, gangguan tertinggi terjadi pada 2024 dengan 3 kali kejadian. Secara keseluruhan, tahun 2024 merupakan periode dengan jumlah gangguan terbanyak, yaitu 9 kali, sedangkan frekuensi terendah terjadi pada 2022 dengan 3 gangguan. Pola ini menunjukkan bahwa meskipun fluktuatif, jalur transmisi Rawalo-Majenang tetap berada pada kawasan dengan risiko petir yang signifikan sehingga membutuhkan sistem proteksi yang andal.

Tabel 3.2 Data Tower dan Sistem Pentanahan Tower SUTT 150 kV STAR Rawalo-Majenang

NO.	TOWER SUTT STAR-RAWALO 1,2	JENIS	LOKASI TOWER	PROTEKSI PETIR		TLA
				MRG	MDG	
1	56 A	TENSION	PERKEBUNAN	MRG	MDG	
2	57 A	TENSION	PERKEBUNAN	MRG	MDG	
3	58 A	TENSION	PERKEBUNAN	MRG	MDG	
4	59 A	SUSPENSION	PERKEBUNAN	MRG		TLA
5	60 A	SUSPENSION	SAWAH	MRG		TLA
6	61 A	SUSPENSION	PERKEBUNAN	MRG	MDG	TLA
7	62 A	SUSPENSION	PERBUKITAN	MRG	MDG	TLA
8	63 A	TENSION	PERBUKITAN	MRG	MDG	TLA
9	64 A	TENSION	PERTAMBANGAN	MRG		TLA
10	65 A	SUSPENSION	PERKEBUNAN	MRG	MDG	
11	66 A	SUSPENSION	PERKEBUNAN	MRG	MDG	
12	67 A	SUSPENSION	SAWAH	MRG	MDG	
13	68 A	SUSPENSION	PERKEBUNAN	MRG	MDG	
14	69 A	TENSION	SAWAH	MRG	MDG	
15	70 A	SUSPENSION	PERKEBUNAN	MRG	MDG	
16	71 A	SUSPENSION	PERKEBUNAN	MRG	MDG	
17	72 A	TENSION	PERBUKITAN	MRG	MDG	
18	73 A	TENSION	SAWAH	MRG		TLA
19	74 A	SUSPENSION	PERKEBUNAN	MRG		TLA
20	75 A	SUSPENSION	PERBUKITAN	MRG		TLA
21	76 A	SUSPENSION	SAWAH	MRG		TLA
22	77 A	TENSION	SAWAH	MRG	MDG	
23	78 A	SUSPENSION	PERKEBUNAN	MRG	MDG	
24	79 A	SUSPENSION	PERKEBUNAN	MRG	MDG	
25	80 A	SUSPENSION	SAWAH	MRG	MDG	
26	81 A	TENSION	SAWAH	MRG		TLA
27	82 A	SUSPENSION	SAWAH	MRG		TLA
28	83 A	SUSPENSION	SAWAH	MRG		TLA
29	84 A	SUSPENSION	SAWAH	MRG		TLA
30	85 A	TENSION	PERKEBUNAN	MRG		TLA
31	86 A	SUSPENSION	PERKEBUNAN	MRG		TLA
32	87 A	SUSPENSION	PERKEBUNAN	MRG		TLA
33	88 A	TENSION	SAWAH	MRG		TLA
34	89 A	SUSPENSION	SAWAH	MRG	MDG	
35	90 A	SUSPENSION	TEPI JALAN RAYA	MRG	MDG	
36	91 A	SUSPENSION	PERKEBUNAN	MRG	MDG	
37	92 A	TENSION	PERBUKITAN	MRG	MDG	
38	93 A	SUSPENSION	PERBUKITAN	MRG	MDG	
39	94 A	SUSPENSION	SAWAH	MRG		TLA
40	95 A	TENSION	SAWAH	MRG		TLA
41	96 A	TENSION	PERBUKITAN	MRG	MDG	
42	97 A	SUSPENSION	PERKEBUNAN	MRG		TLA
43	98 A	TENSION	SAWAH	MRG	MDG	
44	99 A	TENSION	PERKEBUNAN	MRG	MDG	

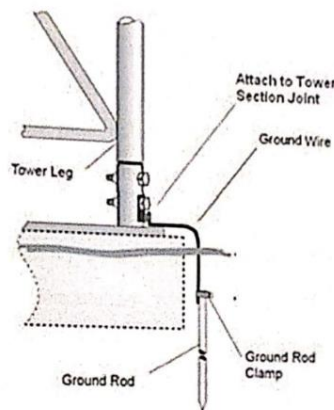
Tabel 3.2 menunjukkan jenis proteksi petir yang digunakan pada tower SUTT 150 kV Star Rawalo-Majenang, yaitu MRG (*Multiple Rod Grounding*), MDG (*Multiple Direct Grounding*), dan TLA (*Tower Lightning Arrester*). Metode MRG meningkatkan efektivitas pentanahan dengan menambahkan beberapa elektroda batang, sedangkan

MDG bekerja dengan memperbanyak jalur pentanahan untuk menurunkan resistansi tanah dan mempercepat aliran arus petir ke bumi. Selain kedua metode tersebut, TLA berfungsi sebagai proteksi tambahan yang menangkap dan menyalurkan energi petir langsung ke sistem grounding, sehingga dapat mengurangi kemungkinan kerusakan peralatan serta meminimalkan gangguan pada jaringan transmisi.

Tabel 3.3 Data Tower dan Sistem Pentanahan Tower SUTT 150 kV STAR Majenang

NO.	TOWER SUTT STAR-MAJENAG 1,2	JENIS	LOKASI TOWER	PROTEKSI PETIR		TLA
				MRG	MDG	
1	64	SUSPENSION	PERKEBUNAN	MRG		
2	65	SUSPENSION	PERKEBUNAN	MRG		
3	66	SUSPENSION	PERKEBUNAN	MRG		
4	67	SUSPENSION	PERKEBUNAN	MRG		
5	68	SUSPENSION	PERKEBUAN	MRG		
6	69	SUSPENSION	PERKEBUNAN	MRG		
7	70	TENSION	PERKEBUNAN	MRG		
8	71	SUSPENSION	PERKEBUNAN	MRG		
9	72	SUSPENSION	HALAMAN WARGA	MRG		
10	73	SUSPENSION	PERKEBUNAN	MRG		
11	74	SUSPENSION	PERNUKITAN	MRG		
12	75	SUSPENSION	PERBUKITAN	MRG		
13	76	TENSION	PERBUKITAN	MRG		
14	77	SUSPENSION	SAWAH	MRG		
15	78	SUSPENSION	PERKEBUNAN	MRG		
16	79	SUSPENSION	PERKEBUNAN	MRG		
17	80	SUSPENSION	PERKEBUNAN	MRG		
18	81	SUSPENSION	SAWAH	MRG		
19	82	SUSPENSION	PERBUKITAN	MRG	MDG	
20	83	SUSPENSION	PERKEBUNAN	MRG	MDG	
21	84	SUSPENSION	PERKEBUNAN	MRG	MDG	
22	85	TENSION	PERKEBUNAN	MRG	MDG	
23	86	TENSION	PERKEBUNAN	MRG		
24	87	TENSION	PERKEBUNAN	MRG		
25	88	TENSION	PERKEBUNAN	MRG		
26	89	SUSPENSION	PERKEBUNAN	MRG		
27	90	SUSPENSION	PERKEBUNAN	MRG		
28	91	TENSION	PERKEBUNAN	MRG		
29	92	TENSION	SAWAH	MRG		

Dari total 73 tower pada jalur SUTT 150 kV Rawalo-Majenang, sekitar 41% menggunakan desain pentanahan tipe MDG (*Multi Direct Grounding*), sedangkan 59% lainnya masih menerapkan metode MRG (*Multi Rod Grounding*). Penerapan MDG mulai dilakukan sejak tahun 2020 sebagai upaya peningkatan kualitas sistem pentanahan, khususnya untuk mengurangi dampak sambaran petir pada jalur transmisi. Metode ini diterapkan secara bertahap guna menggantikan atau melengkapi konfigurasi MRG yang telah terpasang sebelumnya.



Gambar 3.3 Pentanahan 1 kaki 1 rod (single rod)

(Sumber: SKDIR 520 PT. PLN Persero)

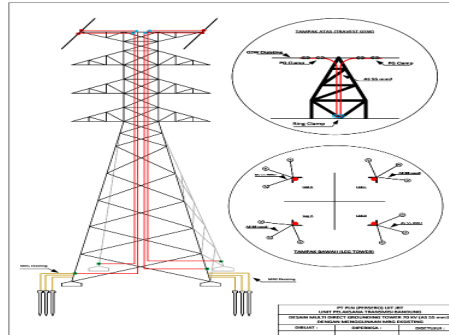
Data perhitungan panjang elektroda (L) = 12 meter, jarak penanaman (H_b) = 10 meter, DIAMETER elektroda (d) = $\frac{3}{4}$ inch = 1,905 cm, Jari-jari elektroda (α) = 1,905 / 2 = 0,9525 cm, Tahanan jenis tanah (ρ) = 1000hm – meter (untuk tanah ladang).

$$R_{dl} = \left(\frac{\rho}{2\pi L}\right) \ln \left[\left(\frac{2L}{a}\right)\right] \quad (3.1)$$

Dimana P = Tahanan jenis tanah (ohm meter), L = Panjang batang elektroda (meter), a = Jari-jari penampang elektroda (centimeter), & R = Tahanan elektroda ke tanah (ohm).

$$R_{dl} = \left(\frac{\rho}{2\pi L}\right) \ln \left[\left(\frac{2L}{a}\right) - 1\right] = \frac{100}{2.3,14.12} \frac{[\ln(2.12)] - 1}{0,9525} = 1,327 [\ln 25,19969 - 1] = 2,9549 \Omega$$

Hasil perhitungan menunjukkan bahwa satu batang elektroda yang ditanam tegak lurus di dalam tanah memiliki nilai tahanan pentanahan sebesar 2,95 Ω , dan nilai ini sudah memenuhi batas maksimum standar yang mensyaratkan tahanan di bawah 10 Ω . Nilai tersebut selanjutnya dibandingkan dengan hasil pengukuran langsung di lapangan untuk melihat kesesuaiannya. Selain itu, perhitungan desain dengan menggunakan tiga batang elektroda (rod) menghasilkan nilai tahanan sekitar 2,89 Ω , yang juga memenuhi ketentuan SKDIR 0520 PT PLN (Persero). Ketiga rod tersebut dihubungkan secara paralel ke badan tower guna menurunkan impedansi sistem pentanahan, sebagaimana diperlihatkan pada Gambar 3.4.



Gambar 3.4 MDG (*Multi Direct Grounding*)

Dengan penerapan metode ini, energi petir yang dialirkan ke tanah diharapkan memiliki nilai tahanan yang lebih rendah sehingga kemungkinan terjadinya back flashover pada konduktor dapat ditekan. Hasil perhitungan tersebut kemudian dibandingkan dengan data pengukuran lapangan menggunakan konfigurasi *Multi Direct Grounding* (MDG) pada jalur SUTT 150 kV STAR Rawalo-Majenang. Metode MDG dilakukan dengan menambah beberapa batang elektroda pada setiap kaki tower untuk memperluas area pelepasan arus petir dan membuat distribusi tegangan terhadap tanah lebih merata. Batang-batang elektroda dipasang dengan sudut sekitar 30° dan jarak yang cukup lebar agar penurunan tahanan pentanahan dapat tercapai secara efektif. Seluruh elektroda kemudian dihubungkan secara paralel sehingga membentuk satu kesatuan sistem grounding yang mampu menurunkan tegangan impuls secara lebih optimal.

Tabel 3.4 Hasil Pengukuran Pentanahan Kaki Tower SUTT 150 kV STAR Rawalo-Majenang

NO TOWER	JENIS PENTANAHAN	KAKI TOWER / INDIVIDUAL				
		A	B	C	D	
56	A	MRG	5,28	4,34	3,9	3,63
57	A	MRG	0,51	2,52	3,1	0,59
58	A	MRG	1,19	1,26	1,21	1,3
59	A	MRG	9,7	10	4,92	8,92
60	A	MRG	3,10	2,89	2,46	3,81
61	A	MDG	1,29	2,25	1,80	1,57
62	A	MDG	3,05	2,87	2,42	3,24
63	A	MDG	2,21	1,80	2,44	2,16
64	A	MRG	3,19	1,97	3,01	2,64
65	A	MRG	1,18	1,67	2,71	1,83
66	A	MRG	0,58	2,09	1,03	1,41
67	A	MRG	1,66	3,01	1,29	2,22
68	A	MRG	2,31	1,97	3,06	2,58
69	A	MRG	1,93	1,42	3,12	2,19
70	A	MRG	5,6	6,11	0,72	4,1
71	A	MRG	7,96	8,43	7,16	6,66
72	A	MRG	1,32	2,36	2,04	3,08
73	A	MRG	1,81	4,67	1,92	2,2
74	A	MRG	19,07	6,88	6,11	11,89
75	A	MRG	8,74	8,58	8,42	10,03
76	A	MRG	2,54	2,12	2,78	3,17
77	A	MRG	3,46	3,32	2,1	6,61
78	A	MRG	45,2	31,9	21,2	40,8
79	A	MRG	3,61	4,42	4,37	4,44
80	A	MRG	1,98	3,07	2,52	1,65
81	A	MRG	0,7	0,63	0,64	0,66
82	A	MRG	0,64	0,71	0,82	1,21
83	A	MRG	6,5	122,4	6,4	6,4
84	A	MRG	8,79	11,75	14,38	6,32
85	A	MRG	6,83	14,34	8,58	14,8
86	A	MRG	4,62	8,04	5,4	5,39
87	A	MRG	2,57	7,52	3,08	2,89
88	A	MRG	2,25	1,93	2,57	3,48
89	A	MRG	10,35	7,8	7,46	12,91
90	A	MRG	32,9	40,1	17,7	30,9
91	A	MRG	9,8	14,6	8,5	9,8
92	A	MRG	0,49	0,51	0,59	1,58

93	A	MRG	3,4	3,33	4,01	3,26
94	A	MRG	1,3	2,85	3,68	1,22
95	A	MRG	3,92	3,6	3,35	3,63
96	A	MRG	1,5	1,46	2,24	2,25
97	A	MRG	1,38	1,04	1,21	4,69
98	A	MRG	2,54	2,52	2,22	2,75
99	A	MDG	0,47	0,27	0,22	0,34
	NO TOWER	JENIS PENTANAHAN	A	B	C	D
64		MRG	2,64	2,13	3,60	2,47
65		MRG	0,38	1,89	0,30	0,96
66		MRG	1,88	0,99	2,42	1,27
67		MRG	0,55	1,69	0,71	2,01
68		MRG	1,28	2,00	1,30	2,81
69		MRG	1,31	2,06	1,32	1,84
70		MRG	2,09	1,77	2,41	2,00
71		MRG	1,63	1,29	2,54	2,32
72		MRG	0,41	1,92	0,57	2,01
73		MRG	2,11	1,64	3,12	1,87
74		MRG	3,04	4,60	3,89	3,73
75		MRG	2,71	2,45	3,24	2,13
76		MRG	0,47	0,39	1,22	0,78
77		MRG	1,76	2,22	1,84	3,03
78		MRG	3,39	3,04	4,10	3,47
79		MRG	1,66	2,31	1,97	3,02
80		MRG	3,00	3,74	2,81	3,39
81		MRG	2,51	2,89	2,17	3,21
82		MDG	1,32	2,08	1,38	3,04
83		MDG	4,01	3,87	4,24	3,75
84		MDG	2,98	2,71	3,15	2,46
85		MDG	1,21	0,79	2,12	1,04
86		MRG	3,44	3,05	4,3	3,75
87		MRG	2,48	2,00	2,73	3,10
88		MRG	0,91	1,20	0,63	1,78
89		MRG	2,30	1,98	1,62	2,19
90		MRG	1,22	2,19	1,86	2,01
91		MRG	2,44	3,13	2,71	2,19
92		MRG	2,61	2,39	3,37	2,86

Berdasarkan Tabel 3.4, terdapat 16 tower yang menunjukkan nilai tahanan pentanahan melebihi hasil perhitungan desain maupun batas standar SKDIR 520 PT PLN (Persero), yaitu di atas 10 Ω. Kondisi ini umumnya disebabkan oleh kualitas sistem grounding yang menurun serta karakteristik tanah di sekitar lokasi pemasangan. Besarnya tegangan impuls pada tower sangat dipengaruhi oleh arus petir dan impedansi sistem, sebagaimana ditunjukkan oleh hubungan:

$$V = I \times Z \quad (3.2)$$

$$V_t = I_p \times R_f + L \frac{di}{dt} \quad (3.3)$$

Impedansi total tower ditentukan oleh komponen resistansi (R) dan induktansi (L). Perbaikan di lapangan selama ini lebih banyak difokuskan pada penurunan nilai resistansi, karena semakin kecil nilai R maka tegangan impuls yang timbul juga semakin rendah. Namun demikian, besarnya tegangan pada tower tidak hanya dipengaruhi oleh resistansi, tetapi juga oleh arus petir yang masuk serta karakteristik impedansi tanah di sekitarnya.

3.4 Analisis Setelah Perbaikan Pentanahan Pada SUTT 150kV Star Rawalo-Majenang

SUTT 150 kV Star Rawalo-Majenang telah menerapkan beberapa metode pentanahan untuk mereduksi dampak sambaran petir, dimulai dari penggunaan sistem *Multi Rod Grounding* (MRG) dan dilanjutkan dengan perbaikan pada sejumlah tower melalui penambahan pentanahan di setiap kaki tower atau *Multi Direct Grounding* (MDG). Efektivitas kedua metode tersebut dapat diamati melalui titik gangguan petir yang tercatat pada Tabel 3.5. Berdasarkan data periode 2020-2025, tercatat 17 titik gangguan sebagaimana ditunjukkan dalam Gambar 4.8, meliputi tower T.74A, T.5, T.93, T.82, T.100, T.76A, T.75A, T.17, T.63A, T.120, T.132, T.84, T.91A, T.55, T.93A, T.114, dan T.7. Jumlah persebaran gangguan memberikan gambaran mengenai sejauh mana sistem pentanahan terpasang mampu menahan dan mengalirkan arus petir sehingga tidak menimbulkan gangguan pada jaringan transmisi.

Tabel 3.5 Data Gangguan Petir Pada SUTT 150 kV STAR Rawalo-Majenang

Nama Bay	Tanggal dan Waktu	Phasa Terganggu	Penyebab Gangguan	Lokasi Gangguan
Majenang 2	3 April 2020 (17.58)	R	Petir	T.74 A
Rawalo 1	30 Oktober 2025 (13.00)	S	Petir	T.5
Majenang 1	03 Desember 2020 (15.01)	R	Petir	T.93
Majenang 2	2 Februari 2021 (16.23)	R	Petir	T.82
Majenang 1	18 Maret 2021 (13.26)	T	Petir	T.74 A
Majenang 2	16 April 2021 (14.45)	S	Petir	T.100
Majenang 2	8 Desember 2021 (16.03)	S	Petir	T.76 A
Majenang 1	8 Desember 2021 (16.03)	S	Petir	T.76 A
Majenang 2	17 Februari 2022 (14.20)	R	Petir	T. 75 A

Rawalo 2	18 April 2022 (15.58)	T	Petir	T.17
Majenang 1	16 Januari 2023 (16.56)	B	Petir	T. 63 A
Rawalo 2	19 Januari 2023 (15.57)	A	Petir	T. 76 A
Rawalo 1	19 Januari 2023 (15.57)	A	Petir	T. 76 A
Majenang 1	19 Januari 2023 (15.57)	B	Petir	T. 76 A
Majenang 2	19 Januari 2023 (15.57)	B	Petir	T. 76 A
Majenang 2	09 Maret 2023 (13.18)	A	Petir	T. 120
Majenang 2	22 Maret 2023 (15.48)	A	Petir	T. 132
Majenang 1	22 Maret 2023 (15.48)	A	Petir	T. 132
Majenang 1	23 Maret 2023 (14.30)	A	Petir	T. 84
Majenang 1	11 November 2024 (13.44)	R	Petir	T. 91 A
Rawalo 1	20 November 2024 (14.34)	R	Petir	T.55
Majenang 1	23 November 2024 (15.05)	R	Petir	T. 93 A
Majenang 1&2	8 Desember 2024 (21.50)	R	Petir	T. 114
Rawalo 1	5 Desember 2025 (19.01)	S	Petir	T. 7

Tabel 3.6 Data Tower yang Terdapat Gangguan

No.	Nomor Tower	Jumlah Gangguan	Metode Pentanahan
1	74 A	2	MRG
2	5	1	MRG
3	93	1	MRG
4	82	1	MRG
5	100	1	MRG
6	76 A	6	MRG
7	75 A	1	MRG
8	17	1	MRG
9	63 A	1	MRG
10	120	1	MRG
11	132	2	MRG
12	84	1	MRG
13	91 A	1	MRG
14	55	1	MRG
15	93 A	1	MRG
16	114	1	MRG
17	7	1	MRG

Berdasarkan data yang diperoleh, penerapan sistem *Multi Direct Grounding* (MDG) pada SUTT 150 kV Star Rawalo-Majenang terbukti mampu menurunkan gangguan akibat sambaran petir [26]. Sebelum metode ini diterapkan, jumlah gangguan pada periode 2020-2025 tercatat mencapai 24 kali. Pemasangan MDG mulai dilakukan pada tahun 2020, khususnya pada tower yang sebelumnya mengalami gangguan. Setelah perbaikan tersebut diterapkan, gangguan petir pada ruas transmisi tersebut tidak lagi terjadi.

3.5 Evaluasi Kemampuan Sistem Pentanahan dalam Melindungi Tower

Berdasarkan hasil pengukuran dan evaluasi desain pentanahan yang diterapkan pada SUTT 150 kV Star-Rawalo-Majenang, sistem pentanahan yang ada mampu menurunkan tegangan langkah dan sentuh di sekitar tower ketika terjadi sambaran petir. Nilai resistansi yang berada di bawah 5 Ω terbukti efektif dalam mereduksi tegangan lebih, baik akibat sambaran langsung maupun induksi. Hal ini sejalan dengan minimnya kejadian back flashover pada penghantar selama satu tahun terakhir.

Variasi nilai resistansi antar-tower dipengaruhi oleh beberapa faktor, terutama jenis tanah, tingkat kelembapan, serta kondisi fisik elektroda pentanahan. Tanah berbatu dan kondisi tanah kering cenderung meningkatkan resistansi, sedangkan rod yang sudah mengalami korosi juga dapat menambah nilai tahanannya. Karena itu, pemeriksaan berkala dan penambahan rod jika diperlukan menjadi langkah penting untuk mempertahankan nilai resistansi tetap berada di bawah batas standar.

Berdasarkan hasil studi, metode pentanahan *Multiple Rod Grounding* (MRG) yang digunakan telah sesuai dengan ketentuan SKDIR 0520 PT PLN Persero. Nilai resistansi berada dalam rentang 2,1-4,5 Ω , jumlah rod per kaki tower memenuhi persyaratan, dan konfigurasi penyambungan sudah menggunakan sistem paralel dengan jarak antar rod sesuai rekomendasi. Penerapan MRG terbukti mampu menurunkan impedansi pentanahan, mendistribusikan arus petir secara lebih merata, dan mengurangi risiko terjadinya tegangan lebih yang dapat memicu back flashover pada isolator.

Efektivitas sistem ini juga ditunjang oleh pemeliharaan yang konsisten dan monitoring rutin, sejalan dengan prosedur PLN dalam menjaga keandalan jaringan transmisi. Selain itu, keberadaan ground wire pada bagian atas penghantar turut membantu mengalihkan sambaran langsung sehingga semakin meningkatkan tingkat perlindungan pada jalur transmisi.

4. Simpulan dan Saran

Berdasarkan hasil analisis, metode *Multi Direct Grounding* dengan nilai tahanan rata-rata 2,89 Ω pada SUTT 150 kV Star-Rawalo-Majenang terbukti memenuhi standar dan mampu meningkatkan perlindungan tower terhadap sambaran petir. Sistem grounding ini efektif dalam menekan risiko *back flashover* sehingga keandalan jalur transmisi dapat terjaga. Untuk memastikan performa sistem tetap optimal, diperlukan pemeriksaan rutin minimal satu kali setiap tahun. Apabila nilai tahanan mendekati batas 10 Ω , perbaikan harus segera dilakukan melalui penambahan atau

penggantian rod yang mengalami korosi. Selain itu, pemantauan kondisi tanah, terutama pada musim kemarau, penting dilakukan untuk mencegah peningkatan resistansi yang dapat memengaruhi efektivitas pentanahan.

Daftar Pustaka/References

- [1]. W. E. Mahardika and A. Ashari, "Sistem Penempatan Transformator Distribusi Berdasarkan Jatuh Tegangan (Studi Kasus Pada PT PLN (Persero) APJ Banyuwangi)," Jul. 2018.
- [2]. H. L. Latupeirissa, H. M. Muskita, T. J. Tahalele, J. T. Elektro, and P. N. Ambon, "Analisa Susut Daya Pada Sistem Distribusi Jaringan Tegangan Menengah," vol. 10, no. 1.
- [3]. M. Masri et al., "Analisis Penempatan Transformator Distribusi Berdasarkan Jatuh Tegangan Pada Saluran Distribusi Primer 20 kV," 2024.
- [4]. R. P. Luntungan, L. S. Patras, and G. M. C. Mangindaan, "Analisa Daerah Lindung dan Grounding Pada Tower Transmisi Akibat Terjadinya Back Flashover," *Journal Teknik Elektro dan Komputer*, vol. 7, no. 3, pp. 199–206, 2018.
- [5]. Novizon, Y. M. Seftiani, and M. H. Ahmad, "Flashover Phenomenon on 150kV Transmission Line Due to Direct Lightning Strike on the Ground Wire," *Proc. 16th International Conference on Quality in Research (QIR)*, 2019.
- [6]. N. H. Saputro, "Analisa Pentanahan Kaki Menara Transmisi 150 kV Rembang–Blora Bertahanan Tinggi dan Usaha Menurunkannya," 2016.
- [7]. Z. G. Datsios, P. N. Mikropoulos, and T. E. Tsovilis, "Impulse Resistance of Concentrated Tower Grounding Systems Simulated by an ATPDraw Object," *International Conference on Power Systems Transients (IPST2011)*, 2011.
- [8]. CIGRE, *Guide to Procedures for Estimating the Lightning Performance of Transmission Lines*, CIGRE 063, 1991.
- [9]. F. M. Gatta, A. Geri, and S. Lauria, "Backflashover Simulation of HV Transmission Lines with Concentrated Tower Grounding," *Electric Power Systems Research*, vol. 73, no. 3, pp. 373–381, Mar. 2005, doi: 10.1016/j.epsr.2004.08.011.
- [10]. Z. G. Datsios et al., "Effect of Concentrated Tower Grounding System Modeling on the Minimum Backflashover Current and BFR of 150 and 400 kV Overhead Transmission Lines," *ICHVE 2018 – IEEE International Conference on High Voltage Engineering and Application*, 2018, doi: 10.1109/ICHVE.2018.8641998.
- [11]. K. M. Habsari, H. Darna, F. Amaral, and H. Farhan, "Profil Tegangan Surja Petir pada Generator Impuls RLC Sebagai Simulasi Tegangan Lebih," *ELPOSYS: Jurnal Sistem Kelistrikan*, vol. 9, no. 1, pp. 24–27, 2022.
- [12]. J. Manik and E. Ervianto, "Pengaruh Tahanan Kaki Menara Type Gantry terhadap Terjadinya Back Flashover pada Isolator Saluran 115 kV PT Chevron Pacific Indonesia," *JOM FTEKNIK*, vol. 2, no. 1, pp. 1–10, 2015.
- [13]. Gassing, "Analisis Sistem Proteksi Petir (Lighting Performance) pada SUTT 150 kV Sistem Sulawesi Selatan," *Prosiding*, vol. 6, 2012.
- [14]. T. Ginting, N. Janter, G. P. Andrew, and A. Pane, "Simulasi Tegangan Induksi Kabel Akibat Arus Petir Pada Kawat Penangkal Petir," *Jurnal Teknologi Energi Uda*, vol. 9, no. 2, pp. 115–122, 2020.
- [15]. Yusmartato and R. Nasution, "Menentukan Parameter Generator Impuls Untuk Gelombang Impuls Petir," *Journal of Electrical Technology*, vol. 5, no. 3, pp. 1–9, 2020.
- [16]. S. S. Wiwaha et al., "Evaluasi Pentanahan Terhadap Sambaran Petir Pada SUTT 70 kV Menggunakan Electro Magnetic Transient Program (EMTP)," *ELPOSYS*, vol. 8, no. 3, pp. 41–46, 2021.
- [17]. Marungsri et al., "Study of Tower Grounding Resistance Effect Backflashover to 500 kV Transmission Line in Thailand using ATP/EMTP," *WASET Int. J. Electr. Comput. Eng.*, vol. 2, no. 6, pp. 1061–1068, 2018.
- [18]. M. Y. Nugroho, M. Facta, and A. Syakur, "Penggunaan ATP Draw 3.8 untuk Menentukan Jumlah Gangguan pada Saluran Transmisi 150 kV Akibat Backflashover," *TRANSMISI*, vol. 18, no. 1, pp. 15–21, 2016.
- [19]. S. Hardi et al., "Influence of Lightning Characteristics on Back Flashover in Extra High Voltage Transmission Line: A Case Study," *J. Phys.: Conf. Ser.*, 2021, doi: 10.1088/1742-6596/1811/1/012048.
- [20]. Nugroho, "Konfigurasi Elektroda Batang pada Sistem Pentanahan," *Jurnal Transistor*, vol. 1, pp. 7–22, 2006.
- [21]. Z. G. Datsios et al., "Estimation of the Minimum Backflashover Current of Overhead Lines through ATP-EMTP Simulations," *International Colloquium on Lightning and Power Systems*, 2016.
- [22]. Z. G. Datsios et al., "Evaluation of the Backflashover Performance of a 150 kV Overhead Transmission Line Considering Frequency- and Current-Dependent Effects of Tower Grounding Systems," *IEEE Trans. Ind. Appl.*, vol. 60, no. 2, pp. 2611–2620, 2023.
- [23]. J. Napitupulu, I. Safarudin, and A. Hernandez, "Studi Kegagalan Perlindungan Kawat Tanah terhadap Sambaran Petir pada Saluran Transmisi 150 kV," *Jurnal Teknologi Energi Uda*, vol. 10, no. 2, pp. 60–67, 2021.
- [24]. M. H. Ulawia, "Evaluasi Pengaruh Lokasi Pemasangan Surja Arrester pada SUTT 150 kV terhadap Tegangan Lebih Switching," 2015.
- [25]. J. Manihuruk and N. L. Sitanggang, "Studi Kemampuan Arrester untuk Pengaman Transformator pada GI Tanjung Morawa 150 kV," *ELPOTECS*, vol. 4, no. 1, pp. 16–25, 2021.
- [26]. S. A. Nugroho and S. Aprilia, "Analisis Perbandingan Karakteristik Arester Jenis Metal-Oxide Akibat Sambaran Petir," *Edu Elekrika Journal*, vol. 10, no. 1, 2021.