

PERFORMANCE STUDY OF OVERVOLTAGE CUTTING BY LIGHTNING ARRESTER DUE TO LIGHTNING INDUCTION

STUDI KINERJA PEMOTONGAN TEGANGAN LEBIH OLEH LIGHTNING ARRESTER AKIBAT INDUKSI PETIR

Kurniawan Ali Male¹, Lanto Mohamad Kamil Amali^{2*}, Yasin Mohamd³, Nova Elysia Ntobuo⁴

¹Mahasiswa Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Gorontalo, Indonesia
Email: kurniawan_s1elektro@mahasiswa.ung.ac.id

²Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Gorontalo, Indonesia
Email: kamilamali@ung.ac.id

³Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Gorontalo, Indonesia
Email: yasinmohamad@ung.ac.id

⁴Program Studi Pendidikan IPA, Fakultas MIPA, Universitas Negeri Gorontalo, Indonesia
Email: novantobuo@ung.ac.id

Received: June 12, 2025 Revised: October 29, 2025 Published: October 31, 2025

DOI: <https://doi.org/10.24912/tesla.v27i2.35675>

Abstract

Lightning disturbances often cause induced overvoltages on 20 kV medium voltage distribution overhead lines, which can shorten equipment life and trigger power outages. This study aims to evaluate the cutting performance of two types of lightning arresters made of ceramic and polymer in reducing lightning-induced voltage surges through high-voltage impulse testing in the laboratory. The tests replicated standard impulse waves and were conducted in stages at 20 kV, 30 kV, 40 kV, and 50 kV levels, with each level repeated several times for data reliability. The main parameters analyzed included the measured peak voltage, response time (μ s), and the cutting percentage compared to unprotected conditions, based on validated oscilloscope readings (time/div and volt/div). The results showed that both arresters reduced the induced voltage in most test scenarios, with the highest effectiveness occurring at 30 kV impulses. Quantitatively, ceramic arresters achieve a cutoff of 0.39–4.17 V (2.27–22.3%), while polymer arresters achieve 1.46–4.67 V (8.44–24.97%), and at 20 kV no significant cutoff is observed. In general, the performance of polymer lightning arresters is better than ceramic lightning arresters, which indicates the ability of polymer materials and housing designs to maintain lower residual voltages when facing fast transients.

Keywords: lightning arrester, lightning induction, overvoltage, impulse test, clamping performance.

Abstrak

Gangguan petir seringkali menimbulkan tegangan lebih terinduksi pada saluran udara distribusi tegangan menengah 20 kV yang berakibat memperpendek umur peralatan dan memicu pemadaman listrik. Penelitian ini bertujuan mengevaluasi kinerja pemotongan dua tipe lightning arrester berbahan keramik dan berbahan polimer dalam mereduksi lonjakan tegangan akibat induksi petir melalui pengujian impuls tegangan tinggi di laboratorium. Pengujian mereplikasi gelombang impuls standar dan dilakukan bertingkat pada level 20 kV, 30 kV, 40 kV, dan 50 kV dimana setiap level diulang beberapa kali untuk reliabilitas data. Parameter utama yang dianalisis meliputi tegangan puncak terukur, respons waktu (μ s), serta persentase pemotongan terhadap kondisi tanpa proteksi, berdasarkan pembacaan osiloskop yang telah divalidasi (time/div dan volt/div). Hasil menunjukkan kedua arrester menurunkan tegangan induksi pada sebagian besar skenario uji, dengan efektivitas tertinggi muncul pada impuls 30 kV. Secara kuantitatif, arrester keramik mencapai pemotongan 0,39–4,17 V (2,27–22,3%), sedangkan arrester polimer 1,46–4,67 V (8,44–24,97%) dan pada tegangan 20 kV tidak teramati pemotongan berarti. Secara umum kinerja lightning arrester polimer lebih baik dibandingkan lightning arrester berbahan keramik, yang mengindikasikan kemampuan material dan rancangan housing polimer untuk menjaga tegangan residual lebih rendah saat menghadapi transien cepat.

Kata Kunci: lightning arrester, induksi petir, tegangan lebih, uji impuls, performa pemotongan

STUDI KINERJA PEMOTONGAN TEGANGAN LEBIH OLEH LIGHTNING ARRESTER AKIBAT INDUKSI PETIR

PENDAHULUAN

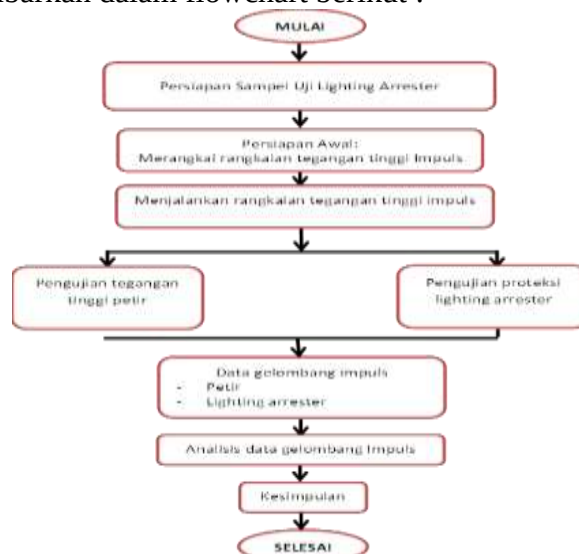
Petir merupakan fenomena alam yang kerap menimbulkan dampak besar pada sistem tenaga, khususnya jaringan distribusi tegangan menengah. Salah satu dampak utama ialah tegangan lebih terinduksi yang dapat merusak peralatan serta mengganggu kestabilan operasi [1–3]. Untuk membatasi lonjakan tersebut dan menyalurkan arus ke tanah digunakan lightning arrester (LA) atau surge arrester. Namun, mengingat kompleksitas induksi elektromagnetik pada peristiwa petir, efektivitas Lightning arrester dalam menghadapi tegangan lebih terinduksi masih menjadi topik penting untuk diteliti [4–6].

Studi terkini menunjukkan bahwa konfigurasi dan penempatan lightning arrester yang tepat mampu menurunkan amplitudo tegangan induksi dan meningkatkan ketahanan sistem [7–8]. Meski demikian, pemahaman mekanisme induksi dan dampaknya terhadap respons lightning arrester tetap perlu dikaji [9].

Penelitian ini memfokuskan perbandingan dua tipe lightning arrester yang lazim dipakai pada jaringan tegangan menengah yaitu lightning arrester berbahan keramik dan lightning arrester berbahan polimer, dengan menilai kemampuan keduanya memotong tegangan lebih akibat induksi petir [10–11]. Pengujian dilakukan secara eksperimental dengan impuls tegangan tinggi untuk mereplikasi kondisi transien petir, sehingga respons awal, waktu picu, dan kemampuan redaman dapat diamati secara representatif [12–13]. Hasilnya diharapkan memberi rujukan teknis pemilihan tipe bahan lightning arrester sesuai karakteristik sistem dan kebutuhan proteksi [14].

METODOLOGI PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan pendekatan eksperimental kuantitatif untuk membandingkan kinerja pemotongan tegangan lebih akibat induksi petir pada dua jenis lightning arrester (LA), yaitu berbahan keramik dan polimer. Fokus penelitian adalah untuk menguji performa kedua LA tersebut dalam kondisi tegangan lebih simulasi petir menggunakan pengujian impuls tegangan tinggi di laboratorium. Secara umum, proses penelitian dapat digambarkan dalam flowchart berikut :



Gambar 1. Flowchart Penelitian

1. Objek Penelitian

Penelitian ini menggunakan metode eksperimen laboratorium untuk mendapatkan data kuantitatif yang valid terkait kinerja lightning arrester dalam memotong tegangan lebih akibat induksi petir [15]. Dua jenis lightning arrester yang dijadikan objek adalah:

- a) Lightning arrester berbahan keramik, yang terbuat dari material porselen dan banyak digunakan dalam instalasi lama [16].



Gambar 1. Lightning Arrester Berbahan Keramik

- b) Lightning arrester berbahan Polimer, menggunakan housing berbahan silikon rubber yang memiliki keunggulan ringan dan tahan polusi [17].



Gambar 2. Lightning Arrester Berbahan Polimer

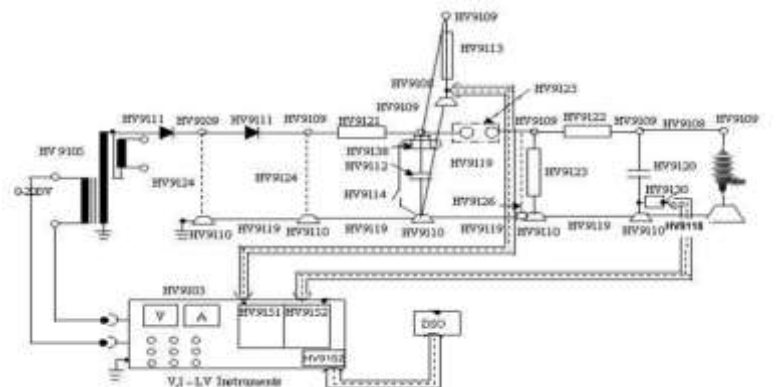
Kedua arrester ini memiliki nilai tegangan nominal yang sama untuk memastikan kesetaraan kondisi uji [18].

2. Prosedur Pengujian

Pengujian dilakukan secara bertahap:

- 1) Persiapan Sampel: Kedua jenis lightning arrester dipasang pada rangkaian uji tegangan tinggi impuls sesuai standar [19]. Adapun rangkaian uji tegangan tinggi impuls dapat dilihat pada Gambar 3. Rangkaian Pengujian Tegangan Tinggi Impuls.

STUDI KINERJA PEMOTONGAN TEGANGAN LEBIH OLEH LIGHTNING ARRESTER AKIBAT
 INDUKSI PETIR



Gambar 3. Rangkaian Pengujian Tegangan Tinggi Impuls

- 2) Injeksi Tegangan Impuls: Tegangan dinaikkan bertahap hingga melewati sparkover; tiap level diuji 5 kali untuk reliabilitas data [20].
- 3) Perekaman Data: Osiloskop merekam tegangan sparkover, sparkover delay, dan bentuk gelombang keluaran; performa dinilai dari kecepatan dan kestabilan respons. [21].

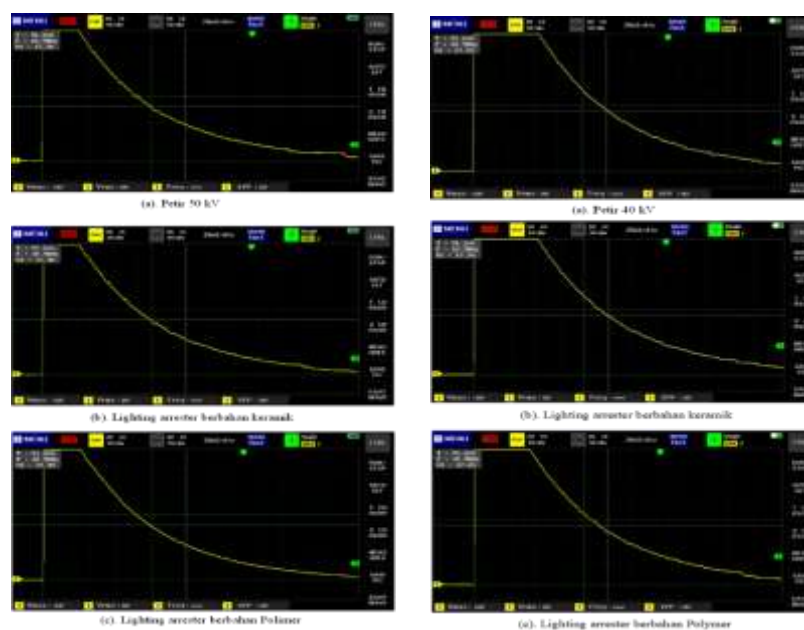
3. Analisis Data

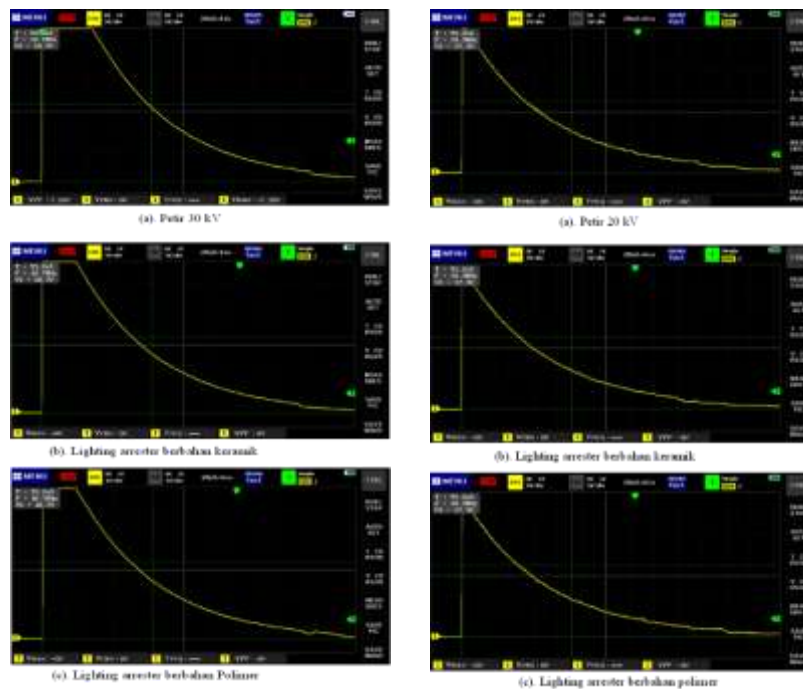
Gelombang hasil pengujian dianalisis untuk menilai kualitas pemotongan lonjakan tegangan oleh masing-masing arrester [22].

HASIL DAN DISKUSI

A. Simulasi Induksi Sambaran Petir

Simulasi induksi sambaran petir menghasilkan grafik yang ditampilkan pada osiloskop, sesuai dengan gelombang impuls standar IEC. Setiap pengujian menghasilkan tiga grafik: grafik induksi sambaran petir, grafik induksi sambaran petir dengan proteksi lightning arrester berbahan polimer, dan grafik induksi sambaran petir dengan proteksi lightning arrester berbahan keramik. Berikut Gambar 1. hasil simulasi





Gambar 1. Karakteristik Petir

- a) Karakteristik Induksi Sambaran Petir
- b) Karakteristik Proteksi Lighting Arrester berbahan keramik
- c) Karakteristik Proteksi Lighting Arrester berbahan Polimer

Gambar 1. (a), (b), dan (c) menunjukkan karakteristik gelombang induksi sambaran petir serta efek awal dari sistem proteksi untuk masing-masing tegangan impuls 50 kV, 40 kV, 30 kV, dan 20 kV. Setiap gambar secara langsung menggambarkan perbandingan gelombang tanpa proteksi, dengan proteksi menggunakan arrester keramik, dan dengan arrester polimer. Secara umum, grafik hasil simulasi menunjukkan puncak, muka, dan ekor gelombang petir. Puncak gelombang cenderung mendatar karena pengaturan nilai waktu (T) dalam μS , frekuensi (F) dalam Hz, dan tegangan (V) dalam Volt pada skala tertentu untuk kejelasan grafik.

B. Analisis Hasil Simulasi

Grafik induksi sambaran petir tanpa proteksi terlihat sangat besar dibandingkan dengan simulasi yang menggunakan proteksi lightning arrester berbahan keramik maupun polimer. Hal ini menunjukkan bahwa lightning arrester mampu memotong tegangan dan memproteksi sambaran petir. Namun, pada simulasi tegangan 20 kV, tidak terjadi pemotongan tegangan oleh lightning arrester, yang sejalan dengan teori bahwa lightning arrester bekerja jika mendeteksi tegangan lebih dari tegangan standarnya.

Analisis grafik dilakukan dengan membuktikan nilai tegangan (V) dan waktu (μS) dari setting osiloskop dengan grafik hasil simulasi. Sebagai contoh pada simulasi 50 kV:

- Waktu (T_{Petir}) : Berdasarkan grafik, sumbu x (representasi waktu) memiliki 40 bar. Dengan setting osiloskop $T=91.2\mu\text{S}$, maka T_{bar} diperoleh sebagai berikut:

$$T_{\text{bar}} = \frac{91,2 \mu\text{S}}{40} = 2,28 \mu\text{S}$$

STUDI KINERJA PEMOTONGAN TEGANGAN LEBIH OLEH LIGHTNING ARRESTER AKIBAT
 INDUKSI PETIR

Jadi :

$$T_{\text{bar}} = 2,28 \mu\text{S}/\text{bar}$$

$$\begin{aligned} \text{Sehingga, Waktu } (T_{\text{petir}}) &= (T_{\text{bar}}) \times (\text{jumlah bar pada sumbu x}) \\ &= 2,28 \mu\text{S} \times 40 \text{ bar} = 91,2 \mu\text{S} \text{ (terbukti)} \end{aligned}$$

- Tegangan (V_{petir}): Berdasarkan grafik, sumbu y (representasi tegangan) memiliki 30 bar. Dengan setting osiloskop $V=17.3$ Volt, maka V_{bar} diperoleh sebagai berikut:

$$V_{\text{bar}} = \frac{17,3 \text{ V}}{30} = 0,576 \text{ V}$$

Jadi :

$$V_{\text{bar}} = 0,576 \text{ V}/\text{bar}$$

$$\begin{aligned} \text{Sehingga, Tegangan } (V_{\text{petir}}) &= (V_{\text{titik/bar}}) \times (\text{jumlah bar pada sumbu y}) \\ &= 0,576 \text{ V} \times 30 \text{ bar} = 17,3 \text{ Volt (terbukti)} \end{aligned}$$

Hasil perhitungan untuk Waktu (T_{petir}) dan Tegangan (V_{petir}) konsisten dengan setting osiloskop, yaitu 91.2 μS dan 17.3 Volt.

Performa Lightning Arrester

Analisis dilanjutkan untuk lightning arrester berbahan keramik dan polimer pada simulasi induksi sambaran petir 50 kV:

- Lightning Arrester Berbahan Keramik (50 kV):
 - Waktu ($T_{\text{LA keramik}}$): Grafik menunjukkan 39 bar pada sumbu x.
 $T_{\text{LA keramik}} = 2.28\mu\text{S} \times 39 = 88.92\mu\text{S}.$
 - Tegangan ($V_{\text{LA keramik}}$): Grafik menunjukkan 29 bar pada sumbu y.
 $V_{\text{LA keramik}} = 0.576\text{V} \times 29 = 16.7 \text{ Volt}.$
- Lightning Arrester Berbahan Polimer (50 kV):
 - Waktu ($T_{\text{LA polimer}}$): Grafik menunjukkan 38.5 bar pada sumbu x.
 $T_{\text{LA polimer}} = 2.28\mu\text{S} \times 38.5 = 87.8\mu\text{S}.$
 - Tegangan ($V_{\text{LA polimer}}$): Grafik menunjukkan 27.5 bar pada sumbu y.
 $V_{\text{LA polimer}} = 0.576\text{V} \times 27.5 = 15.84 \text{ Volt}.$

Tabel 1. menyajikan hasil analisis perhitungan berdasarkan grafik simulasi induksi sambaran petir terhadap sistem perlindungan petir, khususnya lightning arrester (LA) berbahan keramik dan polimer. Analisis ini dilakukan untuk mengevaluasi performa masing-masing jenis arrester dalam merespons berbagai tegangan impuls akibat sambaran petir.

Tabel 1. Hasil Simulasi Tegangan (V) dan Waktu (μS) Respon Lightning Arrester terhadap Induksi Sambaran Petir

IMPULS	50 kV		40 kV		30 kV		20 kV	
	Volt	Time	Volt	Time	Volt	Time	Volt	Time
Petir	17,3	91,2	17,2	91,2	18,7	93,2	17,3	91,2
LA								
Keramik	16,7	88,92	16,81	89,1	14,53	78,9	17,3	91,2
LA								
Polimer	15,84	87,8	14,06	87,4	14,03	75,85	17,3	91,2

Tabel 1. merangkum karakteristik Tegangan (V) dan Waktu (μS) untuk induksi sambaran petir, lightning arrester berbahan keramik, dan lightning arrester berbahan

polimer pada berbagai tegangan impuls (50 kV, 40 kV, 30 kV, 20 kV). Dari tabel terlihat bahwa kedua jenis lightning arrester selalu berhasil memotong tegangan induksi sambaran petir dan tidak mengalami kegagalan.

Analisis Pemotongan Tegangan

Analisis Induksi Sambaran Petir: Simulasi induksi sambaran petir pada 50 kV, 40 kV, 30 kV, dan 20 kV menunjukkan karakteristik gelombang impuls sesuai teori. Nilai tegangan (V) yang besar dan waktu (μ S) pemotongan yang lama jika dibiarkan dapat merusak sistem tenaga dan peralatan listrik, sehingga pencegahan tegangan lebih sangat penting.

Analisis Proteksi Lightning Arrester Berbahan Keramik: Pemasangan lightning arrester berbahan keramik mampu memotong tegangan surja petir. Nilai tegangan pemotongan tertinggi terjadi pada tegangan 30 kV (14.53 Volt dari 18.7 Volt), sementara nilai terkecil terjadi pada 50 kV (16.7 Volt dari 17.3 Volt).

Analisis Proteksi Lightning Arrester Berbahan Polimer: Pemasangan lightning arrester berbahan polimer juga mampu memotong tegangan surja petir. Nilai tegangan pemotongan tertinggi terjadi pada tegangan 30 kV (14.03 Volt dari 18.7 Volt), sedangkan nilai terkecil terjadi pada 50 kV (15.84 Volt dari 17.3 Volt).

Terdapat perbedaan besar pemotongan tegangan antara kedua jenis arrester, sebagai contoh pada simulasi 50 kV:

- Pemotongan Arrester Berbahan Keramik:
 - $V_{\text{pemotongan LA keramik}} = 17.3 \text{ Volt} - 16.7 \text{ Volt} = 0.6 \text{ Volt}$.
 - $\% \text{ tegangan pemotongan LA keramik} = (0.6 \text{ Volt} / 17.3 \text{ Volt}) \times 100 = 3.47\%$.
- Pemotongan Arrester Berbahan Polimer:
 - $V_{\text{pemotongan LA polimer}} = 17.3 \text{ Volt} - 15.84 \text{ Volt} = 1.46 \text{ Volt}$.
 - $\% \text{ tegangan pemotongan LA polimer} = (1.46 \text{ Volt} / 17.3 \text{ Volt}) \times 100 = 8.44\%$.

Tabel 2. menyajikan hasil perhitungan nilai tegangan pemotongan (*clamping voltage*) dari lightning arrester berbahan keramik dan polimer pada berbagai kondisi impuls tegangan. Tegangan pemotongan merupakan parameter penting yang menunjukkan seberapa besar tegangan maksimum yang masih dapat dilewatkan oleh arrester sebelum mengalirkan arus gangguan ke tanah sebagai upaya perlindungan system.

Tabel 2. Tegangan pemotongan Lightning Arrester Keramik dan Polimer berdasarkan hasil perhitungan.

IMPULS	50 kV		40 kV		30 kV		20 kV	
	Volt	%	Volt	%	Volt	%	Volt	%
Petir	17,3		17,2		18.7		17,3	
LA Keramik	0,6	3,47	0,39	2,27	4,17	22,3	0	0
LA Polimer	1,46	8,44	3,14	18,26	4,67	24,97	0	0

Tabel 2. menunjukkan nilai tegangan pemotongan lightning arrester berbahan keramik dan polimer untuk semua pengujian. Nilai pemotongan tegangan untuk lightning arrester berbahan keramik berkisar antara 3.47% - 22.3% (0.6 Volt – 4.17 Volt), sedangkan untuk lightning arrester berbahan polimer berkisar antara 8.44% - 29.7% (1.46 Volt – 4.67 Volt). Pemotongan tegangan tertinggi untuk kedua jenis arrester terjadi pada pengujian 30 kV, dengan 22.3% untuk keramik dan 24.97% untuk polimer. Nilai pemotongan terendah terjadi pada pengujian 40 kV, yaitu 2.27% untuk keramik dan 8.44% untuk polimer.

STUDI KINERJA PEMOTONGAN TEGANGAN LEBIH OLEH LIGHTNING ARRESTER AKIBAT
INDUKSI PETIR

KESIMPULAN

Pengujian impuls tegangan tinggi berhasil mereplikasi kondisi induksi sambaran petir dan dibaca akurat melalui pengaturan osiloskop (time/div dan volt/div). Nilai referensi gelombang petir 91,2 μ s (waktu) dan 17,3 V (tegangan) konsisten dengan pengaturan alat. Baik LA keramik maupun LA polimer efektif menurunkan tegangan lonjakan (kecuali pada 20 kV). Secara kuantitatif, LA keramik memotong 0,39–4,17 V (2,27–22,3%), sedangkan LA polimer 1,46–4,67 V (8,44–24,97%). Kinerja terbaik keduanya muncul pada 30 kV, dan Lightning arrester polimer menunjukkan efektivitas yang lebih tinggi di sebagian besar skenario uji.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada dosen pembimbing atas bimbingan dan arahnya selama proses penelitian ini. Ucapan terima kasih juga disampaikan kepada laboran Laboratorium Tegangan Tinggi, Jurusan Teknik Elektro, Universitas Negeri Gorontalo, atas bantuan dan fasilitas yang diberikan selama pelaksanaan pengujian. Dukungan tersebut sangat berarti dalam penyelesaian penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] IEEE Standard 1410-2010, *IEEE Guide for Improving the Lightning Performance of Electric Power Overhead Distribution Lines*, 2010.
- [2] IEC 60071-4, *Insulation Coordination – Part 4: Guide to the Selection of Insulation Levels*, 2019.
- [3] F. Giraudet, “Line surge arresters: Applications, designs, trends, monitoring and recommendations,” INMR, 2017.
- [4] B. Robben, “Reducing clearances by integration of externally gapped line arresters on HV transmission lines,” Siemens AG, 2019.
- [5] B. G. Halasz et al., “Behavior of spark gaps with different gap distances,” *IEEE Electrical Insulation Conference (EIC)*, 2017.
- [6] L. I. C. Jimenez and M. Rock, “Surface breakdown voltage of creeping discharge spark gap using POM,” *ICLP/SIPDA Conference Proceedings*, 2021.
- [7] P. Duan et al., “Evaluation of lightning-induced overvoltage on a 10 kV distribution line,” *High Voltage*, vol. 9, no. 2, pp. 356–366, 2024.
- [8] L. Zhang et al., “Indirect lightning performance of 10-kV overhead distribution lines,” *Frontiers in Energy Research*, 2024.
- [9] T. E. Tsovilis and Z. Topcagic, “DC overload behavior of varistor-based surge protective devices,” *IEEE Transactions on Power Delivery*, 2020.
- [10] N. Novizon et al., “Power loss estimation of polymeric housing surge arrester using leakage current and temperature approach,” *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 2019.
- [11] Z. Topcagic and T. E. Tsovilis, “Varistor electrical properties: Microstructural effects,” *Elsevier Reference Module*, 2020.
- [12] IEC 60060-1:2010, *High-Voltage Test Techniques – Part 1: General Definitions and Test Requirements*, 2010.
- [13] E. Kuffel, W. S. Zaengl, and J. Kuffel, *High Voltage Engineering: Fundamentals*, Butterworth-Heinemann, 2000.

- [14] IEC 60071-1, Insulation Coordination – Part 1: Definitions, Principles, and Rules, 2019.
- [15] P. Duan et al., “Evaluation of lightning-induced overvoltage on a 10 kV distribution line,” *High Voltage*, vol. 9, no. 2, pp. 356–366, 2024.
- [16] N. Novizon et al., “Power loss estimation of polymeric housing surge arrester using leakage current and temperature approach,” *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 2019.
- [17] Z. Topcagic and T. E. Tsovilis, “Varistor electrical properties: Microstructural effects,” Elsevier Reference Module, 2020.
- [18] L. Zhang et al., “Indirect lightning performance of 10-kV overhead distribution lines,” *Frontiers in Energy Research*, 2024.
- [19] IEC 60099-4, Surge Arresters – Part 4: Metal-Oxide Surge Arresters Without Gaps for A.C. Systems, 2019.
- [20] L. I. C. Jimenez and M. Rock, “Measurements of surface breakdown voltage of creeping discharge spark air gap,” *ICLP Proceedings*, 2021.
- [21] T. E. Tsovilis and Z. Topcagic, “DC overload behavior of low-voltage varistor-based surge protective devices,” *IEEE Transactions on Power Delivery*, 2020.
- [22] IEC 60071-2, Insulation Coordination – Part 2: Application Guide, 2019.