

## Analisa Kemampuan dan Kelayakan *Lightning Arrester* (LA) untuk Pengaman Transformator 5 (60 MVA) pada Gardu Induk 150 KV Kalibakal dengan *Software Matrix Laboratory*

### Analysis of Lightning Arrester (LA) Capability and Suitability for Protecting Transformer 5 (60MVA) at 150 KV Kalibakal Substation using Matrix Laboratory Software

Ramadika Falih Hibatullah<sup>1</sup>, Winarso<sup>2</sup>

<sup>1,2</sup> Program Studi S1 Teknik Elektro, Fakultas Teknik & Sains, Universitas Muhammadiyah Purwokerto  
Jl. Raya Dukuwaluh, Kembaran 53182, Jawa Tengah, Indonesia

---

#### Informasi Makalah

Dikirim, 17 Agustus 2024  
Diterima, 16 Desember 2024  
Diterbitkan, 20 Desember 2024

---

#### Kata Kunci:

*lightning arrester*, petir, resistif, arus bocor, termovisi

---

#### Keyword:

lightning arrester, lightning, resistive, leakage current, thermovision

---

#### INTISARI

Indonesia sebagai negara beriklim tropis memiliki kepadatan petir mencapai angka yang tinggi oleh karena itu, perlu penangkap petir agar mengurangi resiko terjadinya gangguan petir pada sistem tenaga listrik. Metode pada penelitian ini meliputi analisa pengambilan data hasil pengukuran, dan pengolahan data menggunakan aplikasi *Analyzer Lightning Arrester* berbasis MATLAB dengan perbandingan spesifikasi *lightning arrester* yang terpasang. Hasil pengolahan data kemampuan yang terpasang memenuhi kebutuhan sistem untuk melindungi surja petir maupun surja hubung. Hasil Analisa Kelayakan arus bocor resistif menggunakan alat ukur LCM (*Leakage Current Monitoring*), pengolahan data presentase arus bocor setiap fasa mengalami penurunan setiap tahunnya, fasa R tahun 2023 memiliki nilai yang tidak baik yaitu 95%, tahun 2024 mengalami penurunan menjadi 85%. Hasil pengolahan data termovisi suhu pada 05 April-03 Juni 2024 seluruh fasa selisih suhu dibawah standarisasi PLN yaitu <10 °C. Hasil rata-rata emisivitas dari 6 sampel sebesar 0,50548 sama dengan nilai ACSR Aluminium 0,5 versi *Infrared Training Center of Flir System Inc.*

---

#### ABSTRACT

Indonesia, as a country with a tropical climate, has a high density of lightning, therefore lightning catchers are needed to reduce the risk of lightning disturbances in the electric power system. The method in this research includes analysis of data collection from measurement results, and data processing using the MATLAB-based Lightning Arrester Analyzer application with a comparison of the installed Lightning Arrester specifications. The data processing results of the installed capabilities meet the system requirements to protect against lightning surges and power surges. Feasibility Analysis Results of resistive leakage current using the LCM measuring instrument, data processing of the percentage of leakage current for each phase has decreased every year, the R phase in 2023 has a bad value, namely 95%, in 2024 it has decreased to 85%. The results of processing temperature thermovision data on 05 April-03 June 2024, all phases of the temperature difference are below the PLN standard, namely < 10 °C. The average emissivity result of the 6 samples was 0.50548, the same as the ACSR Aluminum 0.5 value according to the *Infrared Training Center of Flir System Inc.*

---

#### Korespondensi Penulis:

Ramadika Falih Hibatullah  
Program Studi S1 Teknik Elektro, Fakultas Teknik & Sains, Universitas Muhammadiyah Purwokerto  
Jl. Raya Dukuwaluh, Kembaran 53182, Jawa Tengah, Indonesia  
Email: ramadika21435@gmail.com

## 1. PENDAHULUAN

Dalam upaya mengurangi tingkat gelombang surja petir, *lightning arrester* juga merupakan peralatan untuk melindungi gardu induk dari tegangan tinggi. *Lightning arrester* pada gardu induk harus di pasang pada bagian paling depan dekat dengan transformator, agar dapat melindungi transformator secara maksimal [1]. Salah satu faktor yang menyebabkan gangguan pada sistem transmisi adalah petir yang sering kali memengaruhi sistem tegangan tinggi, kisaran 150 KV hingga 500 KV [2]. Hal ini di karena lokasi Indonesia berada di daerah tropis, gangguan alam seperti petir sering terjadi dan dapat menyebabkan tegangan berlebih [2]. Salah satu fungsi manajemen adalah pengawasan, yang bertujuan untuk memastikan bahwa setiap tahapan dilakukan sesuai dengan prosedur, persyaratan, dan spesifikasi peralatan [3]. Koordinasi lokasi *lightning arrester* dengan tingkat isolasi yang baik adalah *lightning arrester* ditempatkan sedekat mungkin pada jepitan transformator, namun nyatanya *lightning arrester* dipasang dengan jarak [4]. LCM (*Leakage Current Monitoring*) adalah alat ukur untuk pengukuran arus bocor resistif pada peralatan agar arus bocor pada peralatan tidak melebihi batas kebocoran yang ditentukan, jika arus bocor yang melebihi batas yang ditentukan maka peralatan tersebut dapat dikatakan tidak layak [5]. Untuk menjamin keselamatan sistem tenaga listrik dari tegangan surja dan menjaga agar kinerja *lightning arrester* tetap andal, diperlukan kegiatan perawatan pada *lightning arrester*. Pemeliharaan yang dilakukan yaitu pengujian LCM dan dilakukannya pengantian *lightning arrester* [6]. Pada “Buku Pedoman Lightning Arrester” untuk mendukung hasil evaluasi yang baik, konsistensi pelaksanaan alat ukur LCM dan thermovisi sangat penting, terutama ketika membandingkan hasil pengukuran dilakukan pada waktu yang berbeda [7].

*Thermal image* merupakan kegiatan pengamatan komponen menggunakan alat bantu kamera thermal/kamera thermovisi. Kegiatan ini merupakan pengamatan yang mengindikasikan hot-spot/titik panas/adanya anomali suhu peralatan. Beban saat pengukuran dan beban tertinggi yang pernah dicapai (dalam Ampere) [8]. Bagian yang sering mengalami pemanasan adalah terminal sambungan terutama antara dua logam yang berbeda, serta bagian konduktor yang menyusut akibat korosi. Oleh karena itu memerlukan perhatian khusus suhu menggunakan thermovisi [9]. Berdasarkan latar belakang pada penelitian ini akan menganalisa alat *lightning arrester* dengan menentukan kemampuan pada *lightning arrester* berdasarkan tegangan nominal, tegangan maksimum, arus pelepas, jarak maksimum dan tegangan tiba pada transformator dengan membandingkan hasil perhitungan dengan data spesifikasi *lightning arrester* yang terpasang. Kelayakan pada *lightning arrester* data perhitungan hasil pengukuran arus bocor resistif dengan menggunakan alat ukur LCM dan hasil pengukuran thermovisi suhu berdasarkan standarisasi yang ditetapkan oleh PLN. Hasil perhitungan kemampuan dan kelayakan *lightning arrester* akan dianalisis kemudian diolah kembali menggunakan aplikasi yang sudah dibuat bernama *Analyzer Lightning Arrester* berbasis MATLAB.

### 1.1. Klasifikasi dan Spesifikasi *Lightning Arrester*

#### 1.1.1. Klasifikasi *Lightning Arrester*

Klasifikasi harga maksimum tegangan lebih gelombang petir *lightning arrester* berdasarkan rating *Lightning Arrester* sebagai acuan perhitungan arus pelepas, jarak maksimum, dan tegangan tiba pada transformator sesuai pada Tabel 1 [4].

Tabel 1. Harga Maksimum Tegangan Lebih Gelombang Petir

Rating <i>Arrester</i> ( KV )	<i>Lightning Arrester</i> Class 10 kA	
	Tegangan percik <i>Impuls</i> Maksimum (KV)	<i>EQ</i> (KV)
97	310	36
109	360	258
121	390	290
133	430	320
145	460	342
169	540	410
182	585	430
195	610	455
285	830	625
276	900	665

#### 1.1.2. Spesifikasi *Lightning Arrester*

*Lightning arrester* terdiri dari 2 jenis, yaitu: *lightning arrester* yang memiliki sela percik standar IEC 600099-4, 2001) [10] dan *lightning arrester* tanpa sela percik standar (IEC 60099-1, 1999) [11]. Berdasarkan

(IEC 600099-4, 2001), spesifikasi *lightning arrester* tanpa sela percik untuk gardu induk sistem yang bertegangan AC sebagai berikut:

- Tegangan Operasi *Continue*, yaitu tegangan maksimum yang dapat disalurkan *lightning arrester* secara terus menerus.
- Tegangan Nominal yaitu tegangan efektif tertinggi yang bisa disalurkan *lightning arrester*.
- Tegangan Sisa adalah tegangan pada terminal *lightning arrester* saat mengalirkan arus petir nominal.
- Tegangan Ketahanan *Impuls* Petir Maksimum yaitu tegangan *Impuls* maksimum yang dapat ditahan *lightning arrester* tanpa menyebabkan percikan, ketahanan ini 1.3 kali terhadap tingkat proteksi *Impuls* petir.
- Thermal Runaway* adalah batas kehilangan energi pada *lightning arrester* agar tidak melebihi kemampuan penyebaran panas pada semua komponen. Ketika kehilangan energi lebih besar dari padakemampuan intensitas panas *lightning arrester* akan mengalami suhu tinggi.
- Arus Pelepasan yaitu arus maksimum yang dapat disalurkan oleh *lightning arrester* tanpa merusak *lightning arrester* itu sendiri. Berikut adalah standar arus pelepasan nominal *lightning arrester* sesuai pada Tabel 2 [12].

Tabel 2. Standar Arus Pelepasan *Lightning Arrester* Tanpa Sela Percik

Arus (KA)	Arus Pelepas ( $\mu$ s)	Penempatan	Tegangan (KV)	Insetitas Petir
10		Gardu Induk	> 66	Sering Terjadi
5		Gardu	<= 66	
2,5	10/20	Sistem Tegangan	<= 22	
1,5		Distribusi	<= 22	Sedang

- Jarak Rambat Badan *lightning arrester* ditentukan berdasarkan tingkat bobot polusi di lokasi pemasangan *lightning arrester* tersebut. Berikut adalah hubungan tingkat polusi dan jarak rambat sesuai pada Tabel 3.

Tabel 3. Tingkat Polusi Jarak Rambat *Lightning Arrester*

Bobot polusi	Jarak Rambat mm/KV
Ringan	16
Sedang	20
Berat	25
Sangat Berat	31

## 1.2. Syarat-Syarat *Lightning Arrester*

*Lightning arrester* diharapkan dapat berkoordinasi sehingga memberi hasil yang optimal, maka standar harus digunakan dengan syarat-syarat sebagai berikut:

- Mempunyai tegangan dasar pada *lightning arrester* dengan nilai 50 c/s. Nilai tersebut dipilih sedemikian rupa sehingga tidak akan terlampaui saat digunakan, baik dalam kondisi normal maupun hubung singkat.
- Daerah proteksi harus mempunyai jangkauan yang cukup melindungi seluruh peralatan GI yang mempunyai BIL, atau lebih tinggi dari daerah proteksi. *lightning arrester* akan memberikan perlindungan apabila terdapat selisih yang cukup antara level *lightning arrester* dengan peralatan.
- Resistansi tanah harus rendah dan penangkal petir harus dipasang sedekat mungkin dengan peralatan utama yang dilindungi.
- Kapasitas termal *lightning arrester* harus mampu membawa arus yang besar dari simpanan energi dalam jalur panjang.
- Tingkat proteksi *lightning arrester* ditentukan oleh penurunan tegangan maksimum.
- Nilai Arus pelepasan petir perlu ditentukan untuk mengetahui tingkat keamanan *lightning arrester* dengan BIL.
- Penerapan *lightning arrester* harus diperhatikan karena pengaruh kabel ganda (*multiple line*) terhadap proteksi petir gardu induk.
- Dalam hal ini jika terdapat ketidakpastian dengan 50 c/s *lightning arrester*, sehingga suatu tarif ditambahkan harga untuk *lightning arrester*. Saat ini tambahan 10% masih digunakan sebagai faktor toleransi, untuk menghilangkan kemungkinan bahwa dengan asumsi *lightning arrester* bekerja pada tegangan peralihan yang mungkin tertumpuk pada 50 c/s tegangan ini harus diinterupsi oleh *lightning arrester*.

### 1.3. Rumus

#### 1.3.1. Tegangan Maksimum

Tegangan ini merupakan tegangan maksimum *lightning arrester* dengan kondisi non konduktif dan kembali dari keadaan konduktif [5], dapat ditunjukkan pada persamaan (1).

$$V_m = V_{\text{nominal}} + (V_{\text{nominal}} \times 10 \%) \quad (1)$$

#### 1.3.2. Tegangan Nominal

Tegangan Nominal (*Rated Voltage*) adalah nilai efektif tegangan maksimum dari tegangan frekuensi kerja yang diizinkan antara kutub-kutubnya yang dirancang bekerja dengan tepat [12], dapat ditunjukkan pada persamaan (2).

$$E_r = \alpha \cdot \beta \cdot U_m \quad (2)$$

Keterangan:

$E_r$  = Tegangan dasar *lightning arrester* (KV)

$A$  = Koefisien pembumian ( $\Omega$ )

$\beta$  = Toleransi

$U_m$  = Tegangan sistem maksimum (KV)

#### 1.3.3. Arus Pelepasan

Arus Pelepasan merupakan arus maksimum yang dapat dialirkan oleh *lightning arrester* sehingga tidak menyebabkan kerusakan pada *lightning arrester* itu sendiri, berikut adalah perhitungan impedansi surja [4], dapat ditunjukkan pada persamaan (3) :

$$60 \ln 2h/r \quad (3)$$

Keterangan:

$h$  = Tinggi konduktor terhadap permukaan tanah (m)

$r$  = Jari jari konduktor (m)

$\ln$  = logaritma natural.

60 = faktor konversi yang diberikan dalam rumus.

*Lightning arrester* dikatakan bekerja dengan baik jika arus pelepasnya memenuhi batas yang dilindungi. Arus pelepasan adalah faktor yang menentukan tingkat perlindungan dari *lightning arrester* terhadap peralatan yang dilindungi [4], dapat ditunjukkan pada persamaan (4)

$$I_\alpha = \frac{2U_d - U_A}{Z} \quad (4)$$

Keterangan:

$I_\alpha$  = Arus Pelepasan (kA)

$U_d$  = Tegangan Gelombang Datang (KV)  $U_A$  = Tegangan kerja/ sisa (KV)

$Z$  = Impedansi Surja saluran datang ( $\Omega$ )

#### 1.3.4. Jarak Maksimum

Perhitungan untuk menentukan jarak maksimum antar *lightning arrester* dan transformator [4], dapat ditunjukkan pada persamaan (5).

$$S = \frac{V(E_p - E_a)}{2A} \quad (5)$$

Keterangan:

$S$  = Jarak *lightning arrester* dengan transformator (m)

$E_p$  = BIL transformator (KV)

$E_a$  = Tegangan percik *arrester* (KV)

$A$  = ketajaman muka gelombang tegangan *Impuls* (KV/ $\mu$ s)

$V$  = Kecepatan merambat gelombang *Impuls* (m/ $\mu$ s)

#### 1.3.5. Tegangan Yang Tiba pada Transformator

Jika jarak *lightning arrester* terhadap transformator diketahui. Maka tegangan yang tiba pada transformator untuk dikoordinasikan dengan BIL transformator/ peralatan yang dilindungi [4], dapat ditunjukkan pada persamaan (6).

$$E_p = E_a + 2 \frac{A \cdot S}{V} \quad (6)$$

Keterangan:

$E_a$  = Tegangan *impuls* percik (KV)

$A$  = Gelombang tegangan berjalan (KV/ $\mu$ s)

$S$  = Jarak *lightning arrester* dengan transformator (M)

$V$  = Kecepatan gelombang berjalan (m/ $\mu$ s)

### 1.3.6. LCM (*Leakage Current Monitoring*)

Menghitung presentase arus bocor resistif agar mengetahui presentase (kondisi) arus bocor resistif yang terjadi pada pada *lightning arrester* [13], ditunjukkan pada persamaan (7).

$$\% = \frac{n}{N} \times 100\% \quad (7)$$

Keterangan:

% = Kondisi *arrester*  
 N = Batas arus bocor pabrikan  
 (pA)n = Nilai korektif arus bocor (pA)

### 1.3.7. Thermovisi Suhu

#### a. Selisih Suhu

Menentukan suhu thermovisi menggunakan perhitungan selisih ( $\Delta T$ ) antara suhu T konduktor dan T klem [8] dapat ditunjukkan pada persamaan (8)

$$\Delta T = \left( \frac{I_{maks}}{I_{saat\ Thermovisi}} \right)^2 \times (T_{klem} - T_{konduktor}) \quad (8)$$

Keterangan:

$\Delta T$  = Selisih suhu klem dan konduktor  
 Imaks = Arus maksimal yang pernah dicapai Isaat Thermovisi = Arus disaat Thermovisi  
 T klem = Suhu pada klem  
 T konduktor = Suhu pada konduktor

#### b. Nilai Emisivitas

Emisivitas adalah suatu bahan perbandingan antara energi total yang dipancarkan permukaan bahan dengan energi yang dipancarkan benda hitam pada suhu dan panjang gelombang yang sama [14]. Emisivitas menunjukkan kemampuan suatu material dalam menyerap dan memancarkan energi infra merah, dapat ditunjukkan pada persamaan (9)

$$e = \frac{p \cdot \sigma \cdot T^4}{e} = \left( \frac{P}{\sigma \cdot T^4} \right)^2 \quad (9)$$

Keterangan:

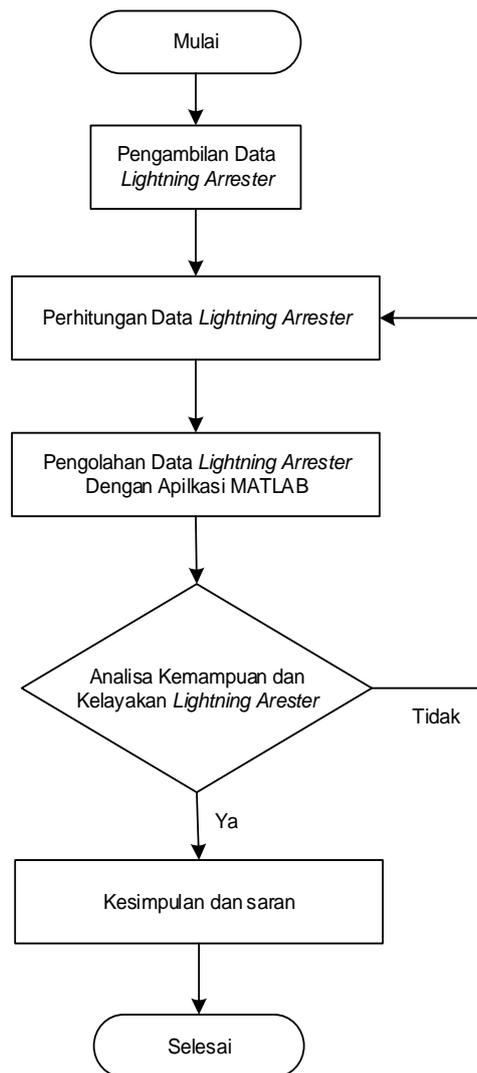
p = *Energy Thermal Conduction* = (237 W<sup>2</sup>/m.K)  
 $\sigma$  = Konstanta *Stefan Boltzman* = (5,672 x 10<sup>-8</sup> W/W<sup>2</sup>)  
 T = Suhu Mutlak (K)  
 e = emisivitas

## 2. METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan metode deskripsi analisis yaitu untuk menjelaskan, mendeskripsikan dan memberikan gambaran terhadap objek yang akan diteliti melalui data yang telah diketahui tanpa melakukan analisis secara umum. Penelitian ini dilakukan agar mendapatkan data unjuk kerja *lightning arrester*, pengukuran dan perhitungan yang memiliki kaitan dengan *lightning arrester* untuk pengaman Transformator berdasarkan perhitungan kemampuan, pengukuran arus bocor resistif dan Anomali suhu pada *lightning arrester*, pada Gardu Induk 150 KV Kalibakal menggunakan alat ukur LCM dan Thermovisi sebagai data pengukuran.

### 2.1. Data Spesifikasi dan Pengukuran

Pada penelitian ini untuk menyelesaikan permasalahan tentang *lightning arrester* pada transformator berdasarkan diagram alir pada Gambar 1.



Gambar 1. Diagram Alir

## 2.2. Data Spesifikasi dan Pengukuran

Dalam penelitian ini untuk memenuhi kebutuhan analisa perhitungan dan perbandingan, data yang dikumpulkan mencakup spesifikasi dan hasil pengukuran yang diperoleh melalui metode pengumpulan data di Gardu Induk 150 KV Kalibakal dibawah ini:

### a. Data Spesifikasi

Berikut adalah data yang didapat pada penelitian spesifikasi *lightning arrester* ini diketahui pada Tabel 4.

Tabel 4. Spesifikasi *Lightning Arrester* pada Transformator 5

SPESIFIKASI	
<i>Merk</i>	ABB AB
<i>Tipe</i>	PEXLIM Q132 – XV170
<i>No.seri</i>	75227637
<i>Tegangan pengenalan</i>	132 KV
<i>Frekuensi</i>	50 Hz
<i>Short Circuit</i>	65 kA
<i>Class</i>	10 kA

Berikut adalah data yang didapat pada penelitian spesifikasi Transformator unit 5 ini diketahui pada Tabel 5.

SPESIFIKASI	
Kapasitas	36/60 MVA
No Seri	30111400
Tahun Pembuatan	2015
<i>Standard</i>	IEC 60076
Frekuensi	50
<i>Phases</i>	3
Pendingin	ONAN/ONAF – 60/100%
BIL	650 KV

Berikut adalah data yang didapat pada penelitian spesifikasi konduktor ini diketahui pada Tabel 6.

SPESIFIKASI	
Item	Uraian
Tipe Penghantar	ACSR ( <i>Single Hawk</i> )
Panjang Saluran	16,7 km
Diameter Penghantar	40 mm
Luas Penampang	240 mm <sup>2</sup>
Kapasitas Arus (CCC)	600 A
Jarak Penghantar LA ke Trafo	3 Meter
Jarak Antar Konduktor ke Permukaan Tanah	5 Meter

#### b. Data Hasil Pengukuran

Berikut adalah data hasil pengukuran LCM (*Leak Current Monitoring*) yang didapat pada penelitian diketahui pada Tabel 7.

No	Tahun	Arus Bocor ( $\mu$ A)	Bay	Phasa	IR ( $\mu$ A)	IR corr	I total
1	2023	150	Transformator 5	R	67	143	692
2				S	58	124	715
3				T	57	122	735
4	R			52	128	740	
5	2024			S	45	110	764
6				T	30	74	745

Berikut adalah data yang didapat pada penelitian hasil pengukuran termovisi suhu *lightning arrester* ini diketahui pada Tabel 8.

No	Taggal	Phase	I Maks(A)	I saat Thermovisi (A)	Kondisi Suhu <i>Lightning Arrester</i>			
					T Klem ( $^{\circ}$ C)	T Konduktor ( $^{\circ}$ C)	T Delta ( $^{\circ}$ C)	Body LA ( $^{\circ}$ C)
1	5 April 2024	R	220	110	27.8	27.5	0.30	28.8
2		S	220	110	27.5	27	0.50	28.8
3		T	220	110	27.3	27	0.30	28.6
4	3 Juni 2024	R	220	110	29.4	28.2	1.20	30.2
5		S	220	110	29.3	28	1.30	29.9
6		T	220	110	29	27.9	1.10	29.6

### 2.3. Perancangam Software

MATLAB (*Matrix Laboratory*) adalah platform komputasi numerik dan bahasa pemrograman yang dikembangkan oleh MathWorks. Pada penelitian ini dibuatlah aplikasi berbasis MATLAB dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Beranda Aplikasi *Analyzer Lightning Arrester*

Aplikasi ini dibuat dengan menampilkan grafik batang dan output numerik, sehingga pengguna dapat dengan mudah memahami hasil analisa *lightning arrester* dalam sistem proteksi transformator. Aplikasi *Analyzer Lightning Arrester* ini terdapat fitur perhitungan berdasarkan kemampuan dan kelayakan *lightning arrester* seperti menentukan tegangan maksimum, tegangan nominal, arus pelepas, tegangan tiba pada transformator, impedansi surja, dan jarak maksimum. Analisa untuk menentukan kelayakan nilai emisivitas dan selisih suhu. Bukan hanya itu aplikasi ini juga dapat digunakan untuk menyimpan data yang akan dibutuhkan.

## 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

### 3.1. Analisa Kemampuan *Lightning Arrester*

#### 3.1.1. Tegangan Maksimum

Berdasarkan aplikasi MATLAB tegangan maksimum *lightning arrester* 165 KV sedangkan berdasarkan *name plate lightning arrester* dengan nomor seri PEXLIM Q132-YV170, dimana angka belakang merupakan tegangan maksimum yaitu 170 KV. Sehingga *lightning arrester* yang terpasang pada transformator unit 5 mampu bekerja di atas tegangan maksimum standar, seperti pada Gambar 3.

Gambar 3. Pengolahan Data Tegangan Maksimum

#### 3.1.2. Tegangan Nominal

Berdasarkan aplikasi MATLAB diketahui tegangan nominal *lightning arrester* sistem adalah 132 KV, berdasarkan *name plate* PEXLIM Q132- YV170 *lightning arrester* yang terpasang yaitu 132 KV, nilai tegangan nominal pada transformator unit 5 sudah memenuhi kebutuhan sistem, dapat dilihat pada Gambar 4.

**Tegangan Nominal**

Diketahui

V<sub>m</sub> = 150 kV

Beta = 1.1 %

Alfa = 0.8 Ohm

Ditanya

Er = Tegangan Nominal

Jawab

Er = 632 kV

Hitung Reset Selesai

Pada Perhitungan Tegangan Nominal dapat di hitung dengan rumus persamaan berikut :

$$E_r = \alpha \cdot \beta \cdot U_m$$

Keterangan :

$\alpha$  = (Koefisien Pembunian)

$\beta$  = (Faktor toleransi untuk menghitung fluktuasi tegangan)

U<sub>m</sub> = (Tegangan sistem maksimum)

E<sub>r</sub> = Tegangan Dasar Arrester (kV)

Gambar 4. Pengolahan Data Tegangan Nominal

### 3.1.3. Arus Pelepas

Berdasarkan hasil pengolahan aplikasi MATLAB perhitungan impedansi surja yaitu 422,49  $\Omega$ , setelah impedansi surja pada konduktor diketahui, sehingga pengolahan MATLAB dapat ditunjukkan pada Gambar 5.

**Impedansi Surja**

Diketahui

r = 240 mm

h = 5 M

Ditanya

r = Meter

Z = Impedansi Konduktor

Jawab

r = 0.00842039 M

Z = 422.543 Ohm

Hitung Reset Selesai

Impedansi Surja dalam peristiwa gelombang berjalan sesuai dengan persamaan berikut ini:

$$60 \ln \frac{2h}{r}$$

Keterangan:

h = Tinggi konduktor dari permukaan tanah (m)

r = Jari jari kawat (m)

ln = logaritma natural.

60 = faktor konversi yang diberikan dalam rumus.

Gambar 5. Pengolahan Data Impedansi Surja

Berdasarkan pengolahan aplikasi MATLAB, impedansi Surja seperti pada gambar 7, dapat dihitung arus pelepas *lightning arrester* yaitu 3.97 KA, apabila arus pelepasan memiliki nilai yang besar maka semakin baik perlindungannya, sehingga *lightning arrester* yang terpasang sudah memenuhi standar, dapat ditunjukkan pada Gambar 6.

**Arus Pelepas**

Diketahui

U<sub>d</sub> = 1000 kV

U<sub>A</sub> = 320 kV

Z = 422.49 Ohm

Ditanya

Er = Tegangan Pelepas

Jawab

I<sub>a</sub> = 3.97643 kA

Hitung Reset Selesai

Arus pelepasan LA (I<sub>a</sub>) dapat dihitung berdasarkan persamaan berikut :

$$I_a = \frac{U_d - U_A}{Z}$$

Dimana :

I<sub>a</sub> = Arus pelepasan

U<sub>d</sub> = Tegangan gelombang datang

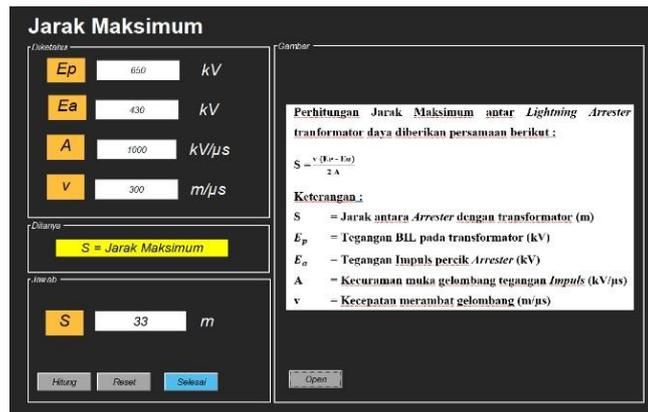
U<sub>A</sub> = Tegangan kerja

Z = Impedansi surja

Gambar 6. Pengolahan Data Arus Pelepas

### 3.1.4. Jarak Maksimum

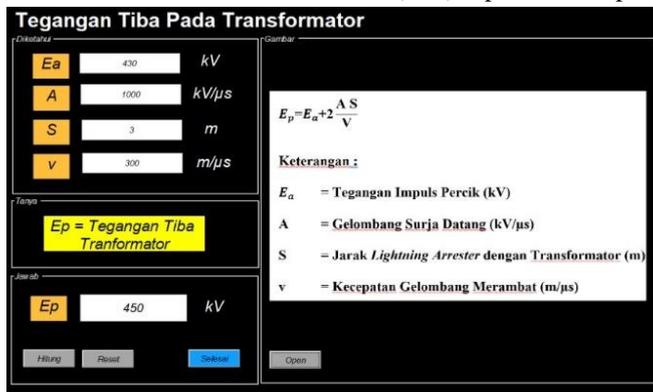
Berdasarkan pengolahan aplikasi MATLAB jarak maksimum *lightning arrester* terhadap transformator daya adalah 33 meter. Jarak terpasang pada Transformator adalah 3 meter, sehingga masih di bawah jarak maksimum dapat dilihat pada Gambar 7.



Gambar 7. Pengolahan Data Jarak Maksimum

**3.1.5. Tegangan Tiba Pada Transformator**

Berdasarkan pengolahan aplikasi tegangan tiba pada transformator adalah 450 KV, sedangkan *Basic Insulation Level* (BIL) yang terpasang yaitu 650 KV sesuai dengan kebutuhan, Dimana nilai tegangan yang tiba pada transformator masih dibawah nilai *Basic Insulation Level* (BIL) seperti dilihat pada Gambar 8.



Gambar 8. Pengolahan Data Tegangan Tiba pada Transformator

**3.2. Analisa Kelayakan Lightning Arrester**

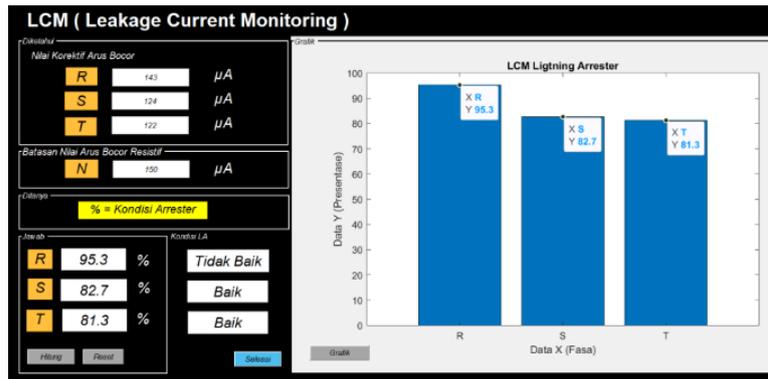
**3.2.1. LCM (Leak Current Monitoring)**

Berikut adalah hasil perhitungan presentase arus bocor resistif pada tahun 2023 dan 2024 dapat dilihat pada Tabel 9.

Tabel 9. Hasil Perhitungan Pengukuran Thermovisi Suhu *Lightning Arrester*

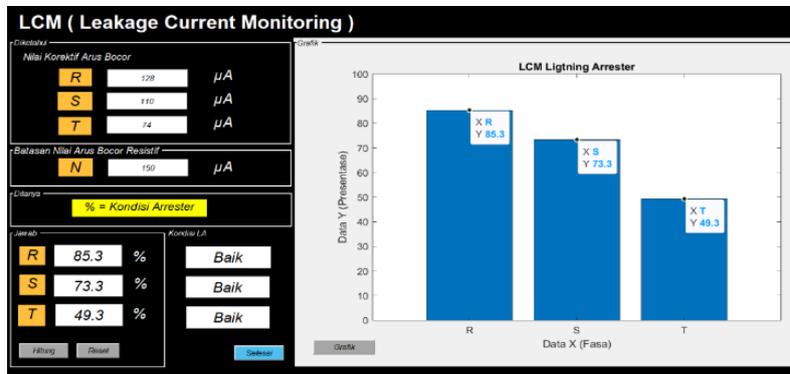
No	Tahun	Bay	Phasa	Presentase	Keterangan
1	2023	Trafo Unit 5	R	95%	Tidak Baik
2			S	83%	Layak
3			T	81%	Layak
4	R		85%	Layak	
5	2024		S	73%	Layak
6			T	49%	Layak

Berikut adalah hasil pengolahan data LCM Tahun 2023 menggunakan aplikasi MATLAB Fasa R memiliki nilai tinggi yaitu 95,3% dimana nilai tersebut menampilkan kondisi tidak baik, sedangkan pada fasa T memiliki nilai terendah yaitu 81,3% dapat ditunjukkan pada Gambar 9.



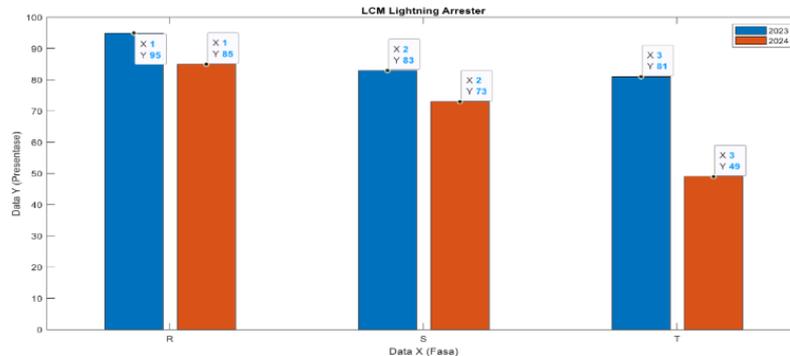
Gambar 9. Pengolahan Data LCM Tahun 2023

Berikut adalah hasil pengolahan data LCM Tahun 2024 menggunakan aplikasi MATLAB, fasa R memiliki nilai tertinggi yaitu 85,3%, sedangkan pada fasa T memiliki nilai terendah yaitu 49,3%. dapat ditunjukkan pada Gambar 10.



Gambar 10. Pengolahan Data LCM Tahun 2024

Berikut adalah data pengolahan perbandingan data grafik LCM tahun 2023 dan 2024 yang dilihat pada Gambar 11.



Gambar 11. Perbandingan Data Grafik LCM Tahun 2023 dan 2024

Gambar 11 memperlihatkan grafik perbandingan presentase arus bocor *lightning arrester* dimana grafik warna biru data tahun 2023 dan warna orange tahun 2024, dapat dilihat semua fasa (R, S, T) menunjukkan penurunan nilai arus bocor setiap tahunnya. Pada fasa R tahun 2023 memiliki nilai yang tidak baik dapat kita bandingkan pada [7], Rekomendasi Hasil Ukur LCM menurut "Buku Pedoman *Lightning Arrester*" pengukuran tahunan dengan standar < 90% sedangkan, ditahun 2023 pada fasa R memiliki nilai 95%, seharusnya menurut standarisasi PLN ketika nilai 91 – 99% .

3.2.2. Thermovisi Suhu

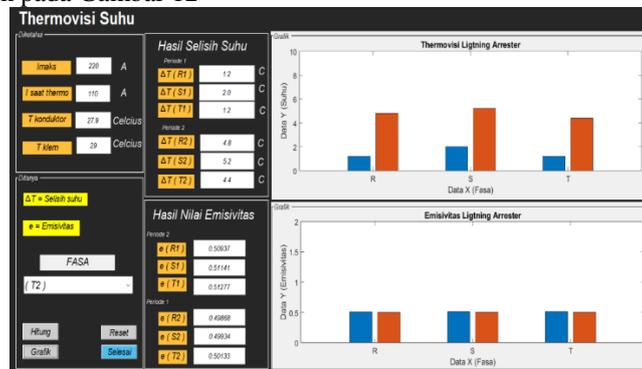
a. Selisih Suhu

Berikut adalah hasil perhitungan selisih suhu pada tanggal 05 April dan 03 Juni 2024 dapat dilihat pada Tabel 10.

Tabel 10. Hasil Perhitungan Selisih Suhu *Lightning Arrester*

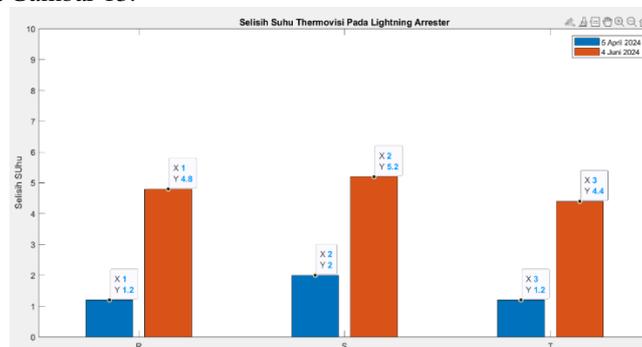
No	Tanggal	Phase	I Maksimum (A)	I saat Thermovisi (A)	Pengukuran Suhu Thermovisi		Hasil Selisih Suhu
					T Klem (°C)	T Konduktor (°C)	
1	05 April 2024	R	220	110	27.8	27.5	1.2
2		S	220	110	27.5	27	2
3		T	220	110	27.3	27	1.2
4	03 Juni 2024	R	220	110	29.4	28.2	4.8
5		S	220	110	29.3	28	5.2
6		T	220	110	29	27.9	4.4

Berikut adalah hasil pengolahan data selisih suhu pada tanggal 05 April dan 03 Juni 2024 dapat ditunjukkan pada Gambar 12



Gambar 12. Hasil Pengolahan Data Selisih suhu

Berikut grafik perbandingan pengukuran selisih suhu 05 April dan 03 Juni 2024 dapat ditunjukkan pada Gambar 13.

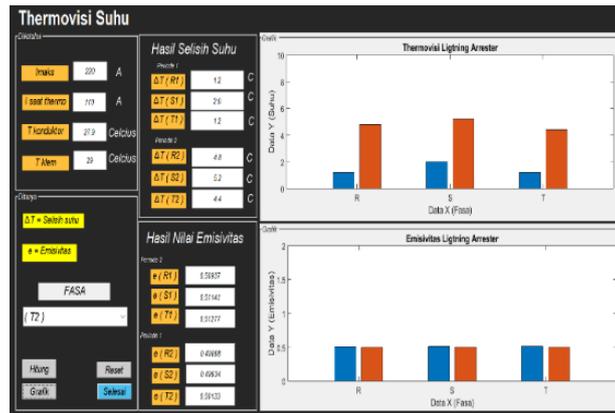


Gambar 13. Grafik Perbandingan Pengukuran Selisih suhu

Gambar 13 memperlihatkan pengolahan data selisih suhu klem *lightning arrester* pada transformator. Grafik berwarna biru adalah grafik pada tanggal 05 April 2024 dan warna orange adalah grafik pada 03 Juni 2024, dapat kita lihat pada grafik fasa (R, S, T) menunjukkan peningkatan nilai suhu pada tanggal 03 Juni 2024. Berdasarkan grafik fasa S berada pada nilai angka tertinggi disetiap pengukurannya, Fasa R mengalami penurunan yang paling signifikan, sedangkan fasa T masih menduduki suhu paling rendah. Dapat dilihat pada seluruh pengukuran dan waktu fasa (R, S, T) memiliki suhu baik dapat kita bandingkan pada standar suhu *thermovisi* dengan nilai  $< 10$  °C pada kondisi normal [15].

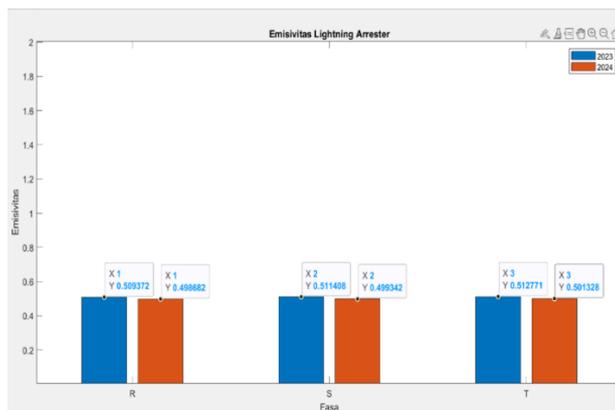
#### b. Nilai Emisivitas

Berikut adalah pengolahan data nilai emisivitas 05 April dan 03 Juni 2024 yang dilihat pada Gambar 14.



Gambar 14. Pengolahan Data Nilai Emisivitas

Berikut grafik perbandingan pengukuran nilai emisivitas 05 April dan 03 Juni 2024 dapat ditunjukkan pada Gambar 15.



Gambar 15. Perbandingan Pengukuran Nilai Emisivitas

Berdasarkan Gambar 15 adalah grafik nilai emisivitas pada *lightning arrester* pada *transformator* Unit 5 Gardu Induk 150 KV Kalibakal. Perlu diketahui pada grafik terdapat 2 bar grafik pada bar berwarna biru adalah grafik pada tanggal 05 April 2024 dan pada bar warna orange adalah grafik pada 03 Juni 2024. Dapat kita lihat pada grafik semua fasa mengalami penurunan nilai emisivitas pada pengukuran 03 Juni 2024. Fasa T berada pada nilai angka tertinggi pada 04 April 2024 maupun 03 Juni 2024, sedangkan fasa R masih menduduki nilai emisivitas paling rendah. Semakin besar suhu pengukuran *thermovisi* maka semakin rendah nilai emisivitasnya dan sebaliknya.

#### 4. KESIMPULAN

Kemampuan *lightning arrester* yang terpasang di sisi HV *transformator* memenuhi kriteria untuk melindunginya dari surja petir maupun surja hubung. Pada tegangan nominal adalah 132 KV dan tegangan maksimum adalah 165 KV, arus pelepas sebesar 3,97 kA pemilihan *Lightning Arrester* yang terpasang kelas arus sebesar 10 kA. Nilai tegangan pada terminal *transformator* 450 KV, sedangkan *Basic Insulation Level* (BIL) *transformator* adalah 650 KV (perhitungan jarak maksimum antara *lightning arrester* dan *transformator* daya 33 meter, sedangkan di lapangan 3 meter).

Kelayakan *lightning arrester* berdasarkan hasil analisa pengukuran arus bocor pada tahun 2023- 2024 adalah masih normal dan layak beroperasi. Presentase Arus Bocor resistif pada Fasa (R, S, T) fasa R tahun 2023 memiliki nilai yaitu 95%, (kondisi normal standarisasi PLN < 90%) dan menurun pada tahun 2024 menjadi 85% dan masih cukup tinggi, hal tersebut dapat terjadi karena kondisi alam, lingkungan, dan sistem menjadikan pengukuran tidak akurat. Berdasarkan perhitungan *thermovisi Suhu* setiap fasanya memiliki suhu baik (kondisi normal standarisasi PLN yaitu <10°C) dengan rata-rata emisivitas dari 6 sampel sebesar 0,50548 sama dengan nilai ACSR Aluminium 0,5 yang dikeluarkan oleh *Infrared Training Center of Flir System Inc.*

**DAFTAR PUSTAKA**

- [1] Hidayatulloh, R., & tyas tutu dan Kartono, J. (2012). Analisa gangguan hubung singkat pada jaringan SUTT 150 Kv jalur Kebasen–Balapulang–Bumiayu menggunakan program ETAP. Tugas Akhir: Universitas Diponegoro.
- [2] Sitorus, C. H. L. (2017). Studi Analisis Pemilihan Dan Pemasangan Arrester Aplikasi Transformator Pada Gardu Induk Pematang Siantar.
- [3] Yusmartato, Y., Parinduri, L., & Sudaryanto, S. (2017). Pembangunan Gardu Induk 150 KV di Desa Parbaba Dolok Kecamatan Pangururan Kabupaten Samosir. *JET (Journal of Electrical Technology)*, 2(3), 13–17.
- [4] Hutauruk (2021). *Gelombang Berjalan dan Proteksi Surja* (Sangma Parapat, Ed.). Penerbit Erlangga.
- [5] Ramadhani, A. W., Joko, J., Agung, A. I., & Wrahatnolo, T. (2023). Analisis Arus Bocor Resistif Pada Sistem Proteksi Lightning Arrester Bay Kedinding Di Gardu Induk 150 KV Kenjeran Surabaya. *Jurnal Teknik ELEktro*, 12(1), 19–27.
- [6] Shoimatussururoh, S. (2022). Pemeliharaan Lightning Arrester (LA) pada Gardu Induk Saketi 150kv di PT. PLN (Persero) ULTG Rangkasbitung. *INSOLOGI: Jurnal Sains Dan Teknologi*, 1(5), 520–531.
- [7] PLN, P. T. (2014). *Buku Pedoman Pemeliharaan Lightning Arrester*. Jakarta, Indonesia.
- [8] Suardi, M. A., Utomo, R. M., Pandu, A., Suprihanto, D., & Rumawan, F. H. (2024). Analisis Tiga Level Inspeksi Peralatan Lightning Arrester Sebagai Pengaman Pada Unit Layanan Transmisi Dan Gardu Induk Tengkawang. *Prosiding Snitt Poltekba*, 6, 48–54.
- [9] Putra, & Izzan Julda DE. (2019). Analisis Pemeliharaan dan Penempatan Lightning Arrester Bay Bawen 2 Gardu Induk 150 kV Klaten. Universitas Muhammadiyah Surakarta.
- [10] IEC 60099-1. (1999). Non linear resistor type gapped surge arresters for a.c system. International Standard.
- [11] IEC 600099-4. (2001). Metal Oxide Surge Arrester Without Gaps for a.c Systems (1.2). International Electrotechnical Commission.
- [12] Ramadhani, A. W., Joko, J., Agung, A. I., & Wrahatnolo, T. (2023). Analisis Arus Bocor Resistif Pada Sistem Proteksi Lightning Arrester Bay Kedinding Di Gardu Induk 150 KV Kenjeran Surabaya. *Jurnal Teknik ELEktro*, 12(1), 19–27.
- [13] PT.PLN. (2009). *Buku Petunjuk Batasan Operasi dan Pemeliharaan Peralatan Penyaluran Tenaga Listrik (Vols. 4-22/HARLUR-PST/2009)*.
- [14] Shoimatussururoh, S. (2022). Pemeliharaan Lightning Arrester (LA) pada Gardu Induk Saketi 150kv di PT. PLN (Persero) ULTG Rangkasbitung. *INSOLOGI: Jurnal Sains Dan Teknologi*, 1(5), 520–531.
- [15] PT.PLN. (2014). *Buku Pedoman Pemeliharaan Transformator Daya (PDM/PGI/01)*: