

**ANALISA UJI KELAYAKAN KINERJA LIGHTNING  
ARRESTER (LA) JENIS ZnO BERDASARKAN ARUS BOCOR  
PADA GARDU INDUK 150 KV KEBASEN DENGAN METODE  
REGRESI LINEAR**

**LAPORAN TUGAS AKHIR**

Laporan ini disusun untuk memenuhi salah satu syarat  
Memperoleh gelar S1 pada Program Studi Teknik Elektro  
Fakultas Teknologi Industri  
Universitas Islam Sultan Agung



**DISUSUN OLEH :**

**MOHAMMAD CHOIRUL MU'TI**

**NIM. 30602000026**

**PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO  
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI  
UNIVERSITAS ISLAM SULTAN AGUNG  
SEMARANG**

**2024**

***ANALYSIS OF THE PERFORMANCE FEASIBILITY TEST OF  
THE ZnO TYPE LIGHTNING ARRESTER (LA) BASED ON  
LEAKAGE CURRENT AT THE 150 KV KEBASEN SUBSTATION  
USING THE LINEAR REGRESSION METHOD***

***FINAL PROJECT***

*Proposed to complete the requirement to obtain a bachelor's degree (S1) at  
Departement of Electrical Engineering*

*Faculty of Industrial Technology*

*Universitas Islam Sultan Agung*



*ARRANGED BY :*

**MOHAMMAD CHOIRUL MU'TI**

**NIM. 30602000026**

***DEPARTMENT OF ELECTRICAL ENGINEERING***

***FACULTY OF INDUSTRIAL TECHNOLOGY***

**UNIVERSITAS ISLAM SULTAN AGUNG**

**SEMARANG**

**2024**

## LEMBAR PENGESAHAN PEMBIMBING

Laporan Tugas Akhir dengan judul "ANALISIS UJI KELAYAKAN KINERJA LIGHTNING ARRESTER (LA) JENIS ZnO BERDASARKAN ARUS BOCOR PADA GARDU INDUK 150 KV KEBASEN DENGAN METODE REGRESI LINEAR" ini disusun oleh:

Nama : MOHAMMAD CHOIRUL MU'TI  
NIM : 30602000026  
Program Studi : Teknik Elektro

Telah disahkan dan disetujui oleh dosen pembimbing pada:

Hari : Selasa  
Tanggal : 3 Desember 2024

Pembimbing I



Ir. Ida Widiastuti, M.T.  
NIDN : 0005036501

Mengetahui,

Ka. Program Studi Teknik Elektro



Wahyuni Puji Hastuti, S.T., M.T.  
NIDN : 0607018501

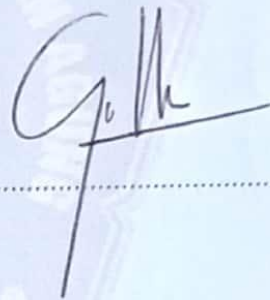
## LEMBAR PENGESAHAN PENGUJI

Laporan Tugas Akhir dengan judul "ANALISA UJI KELAYAKAN KINERJA LIGHTNING ARRESTER (LA) JENIS ZnO BERDASARKAN ARUS BOCOR PADA GARDU INDUK 150 KV KEBASEN DENGAN METODE REGRESI LINEAR" ini telah dipertahankan di depan Penguji sidang Tugas Akhir pada:

Hari : Selasa  
Tanggal : 3 Desember 2024

Tim Penguji Tanda Tangan

Dr. Gunawan, S.T., M.T.  
NIDN : 0607117101  
Ketua



Jenny Putri Hapsari, S.T., M.T.  
NIDN : 0607018501

Penguji I



12/24.

Ir. Ida Widihastuti, M.T.  
NIDN : 0005036501  
Penguji II



## PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI ILMIAH

Yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama : MOHAMMAD CHOIRUL MU'TI  
NIM : 30602000026  
Jurusan : Teknik Elektro  
Fakultas : Fakultas Teknologi Industri

Dengan ini saya menyerahkan karya ilmiah berupa Tugas Akhir dengan judul **“ANALISIS UJI KELAYAKAN KINERJA LIGHTNING ARRESTER (LA) JENIS ZnO BERDASARKAN ARUS BOCOR PADA GARDU INDUK 150 KV KEBASEN DENGAN METODE REGRESI LINEAR”** dan menyetujui menjadi hak milik Universitas Islam Sultan Agung serta memberikan hak bebas royalti non-eksklusif untuk disimpan, dialih mediakan, dikelola dalam pangkalan data dan publikasinya di internet atau media lain untuk kepentingan akademis selama tetap mencantumkan nama penulis sebagai pemilik Hak Cipta.

Pernyataan ini saya buat dengan sungguh-sungguh. Apabila dikemudian hari terbukti ada pelanggaran Hak Cipta/ Plagiarisme dalam karya ilmiah ini, maka segala bentuk tuntutan hukum yang timbul akan saya tanggung secara pribadi tanpa melibatkan pihak Universitas Islam Sultan Agung

Semarang, 12, Desember 2024

Yang Menyatakan



MOHAMMAD CHOIRUL MU'TI



## SURAT PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR

Yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : MOHAMMAD CHOIRUL MU'TI  
NIM : 30602000026  
Jurusan : Teknik Elektro  
Fakultas : Fakultas Teknologi Industri

Dengan ini saya menyatakan bahwa Tugas Akhir yang diajukan dengan judul "ANALISIS UJI KELAYAKAN KINERJA LIGHTNING ARRESTER (LA) JENIS ZnO BERDASARKAN ARUS BOCOR PADA GARDU INDUK 150 KV KEBASEN DENGAN METODE REGRESI LINEAR" adalah hasil karya sendiri, tidak pernah diajukan untuk memperoleh gelar kesarjana di perguruan tinggi lain maupun ditulis dan diterbitkan orang lain, kecuali secara tertulis diacu dalam daftar pustaka. Tugas Akhir ini adalah milik saya segala bentuk kesalahan dan kekeliruan dalam Tugas Akhir ini adalah tanggung jawab saya.

Demikian surat pernyataan ini saya buat dengan sadar dan penuh tanggung jawab.

Semarang, 12, Desember 2024

Yang Menyatakan



MOHAMMAD CHOIRUL MU'TI

## HALAMAN PERSEMBAHAN

Sujud sembah serta syukur kepada Allah SWT. Taburan cinta dan kasih sayang-Mu telah memberikanku kekuatan, membekaliku dengan ilmu serta memperkenalkanku dengan cinta. Atas karunia serta kemudahan yang telah Engkau berikan akhirnya skripsi yang sederhana ini dapat terselesaikan. Shalawat dan salam selalu terlimpahkan keharibaan Rasulullah Muhammad SAW.

Kupersembahkan karya sederhana ini kepada orang yang sangat kukasihi dan kusayangi.

### **Pertama,**

Kedua orang tua saya (Bapak Imam Sobochin dan Ibu Rijah Roaeni) Orang yang hebat yang selalu menjadi penyemangat saya dalam menghadapi berbagai cobaan yang saya alami. Terima kasih yang selalu berjuang untuk kehidupan saya. Terimakasih untuk semuanya berkat do'a dan dukungannya saya bisa berada pada titik ini. Semoga Allah SWT memberikan kesehatan dan umur yang panjang kepada kedua orang tua saya. Agar selalu ada dalam setiap perjalanan dan pencapaian hidup saya.

### **Kedua,**

Untuk seluruh Dosen Fakultas Teknologi Industri Prodi Teknik Elektro Universitas Islam Sultan Agung yang selalu memberikan ilmu yang bermafaat dan motivasi dalam menyelesaikan studi.

### **Terakhir,**

Untuk diri saya sendiri, terimakasih karena telah mampu bertahan sampai pada titik ini serta telah berjuang sejauh ini dan tak pernah menyerah sesulit apapun proses penyusunan skripsi ini dengan menyelesaikan sebaik dan semaksimal mungkin, ini merupakan pencapaian yang patut dibanggakan untuk diri sendiri.

## HALAMAN MOTTO

“Allah tidak membebani seseorang melainkan sesuai dengan kesanggupannya”

(Q.S Al Baqarah Ayat 286)

"Untuk menjadi yang terbaik. Kamu harus mempunyai mimpi yang besar serta semangat untuk mewujudkannya"

(Gus Baha)

“Hidup bukan apa tentang mendapatkan apa yang kamu inginkan, tetapi tentang menghargai apa yang kamu miliki”

(Gus Baha)





## KATA PENGANTAR

*Bismillahirrahmanirrahim*

*Assalamu'alaikum Warahmatullahi Wabarakatuh*

*Alhamdulillah* puji syukur kehadiran Allah SWT yang telah memberikan Rahmat dan Nikmatnya sehingga masih berkesempatan untuk menuntut ilmu dalam keadaan sehat wal'afiat, Shalawat serta salam semoga selalu tercurahkan kepada baginda Rasulullah Muhammad SAW, semoga kelak kita mendapatkan syafaatnya. Aamiin Ya Robbalalamin.

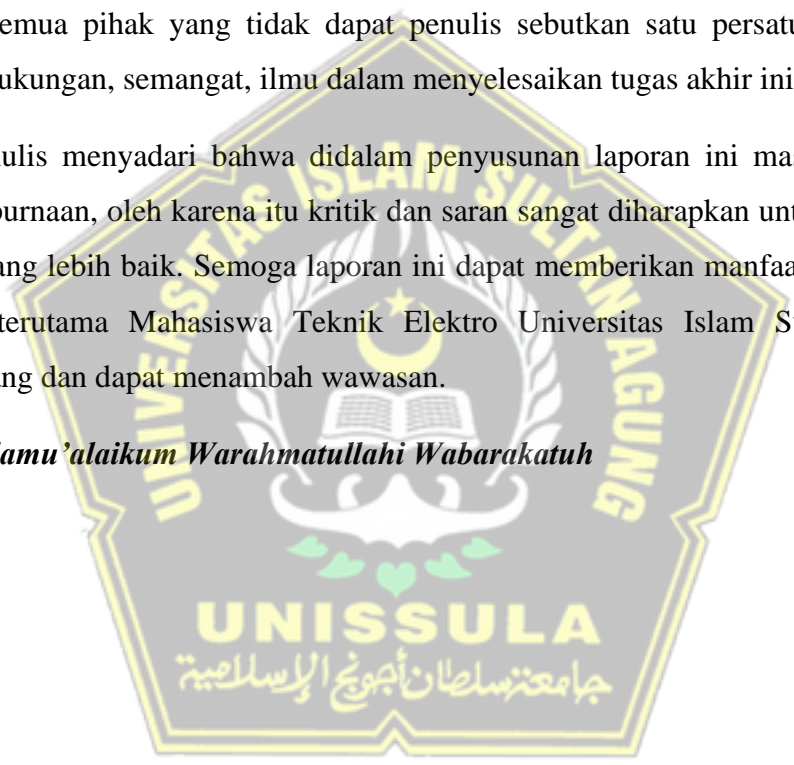
Penyusunan Tugas Akhir ini adalah salah satu syarat untuk memperoleh gelar sarjana pada Fakultas Teknologi Industri di Universitas Islam Sultan Agung Semarang. Dalam penulisan Tugas Akhir ini tentunya banyak pihak yang membeikan bantuan secara moril maupun materil. Oleh karena itu, penulis menyampaikan upacara terima kasih yang tiada hingganya kepada:

1. Allah SWT yang telah memberikan rahmat dan ridhanya serta memberikan ketabahan, kesabaran dan kelapangan hati serta pikiran dalam menimba ilmu.
2. Kedua oran tua, yakni bapak Imam Sobichin dan ibu Rijah Roeni yang telah memberikan dukungan baik materil maupun non materil dan tidak pernah berhenti mendo'akan disetiap sholatnya.
3. Bapak Prof. Dr. Gunarto SH., Mhum. Selaku Rektor Universitas Islam Sultan Agung Semarang.
4. Ibu Dr. Hj. Novi Marlyana, S.T., M.T. Selaku Dekan Fakultas Teknologi Industri Universitas Islam Sultan Agung Semarang.
5. Ibu Jenny Putri Hapsari, S.T., M.T. Selaku Ketua Jurusan Teknik Elektro Universitas Islam Sultan Agung Semarang.
6. Ibu Ir. Ida Widiastuti, MT. Selaku dosen pembimbing yang memberikan ilmu yang bermanfaat, memberikan banyak arahan, dan dengan sabar membimbing, sehingga dapat menyelesaikan laporan tugas akhir ini.

7. Bapak Dr. Muhammad Khosyi'in, S.T., M.T. Selaku Koordinator Tugas Akhir Program Studi Teknik Elektro Fakultas Teknologi Industri Universitas Islam Sulatan Agung Semarang.
8. Seluruh dosen dan karyawan Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknologi Industri, Universitas Islam Sultan Agung Semarang atas ilmu, bimbingan, dan dukungan dalam penyusunan tugas akhir ini.
9. Taman Teknik Elektro 2020 senantiasa memberikan dukungan, semangat, dan doa juga prestasinya.
10. Semua pihak yang tidak dapat penulis sebutkan satu persatu atas segala dukungan, semangat, ilmu dalam menyelesaikan tugas akhir ini.

Penulis menyadari bahwa didalam penyusunan laporan ini masih jauh dari kesempurnaan, oleh karena itu kritik dan saran sangat diharapkan untuk mencapai hasil yang lebih baik. Semoga laporan ini dapat memberikan manfaat bagi semua pihak terutama Mahasiswa Teknik Elektro Universitas Islam Sultan Agung Semarang dan dapat menambah wawasan.

***Wassalamu'alaikum Warahmatullahi Wabarakatuh***



Semarang, 09 Desember 2024

MOHAMMAD CHOIRUL MU'TI

## DAFTAR ISI

LAPORAN TUGAS AKHIR .....	i
SURAT PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR... Error! Bookmark not defined.	
LEMBAR PENGESAHAN PEMBIMBING .....	Error! Bookmark not defined.
LEMBAR PENGESAHAN PENGUJI.....	Error! Bookmark not defined.
PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI KARYA ILMIAH .....	Error! Bookmark not defined.
HALAMAN PERSEMBAHAN .....	vii
HALAMAN MOTTO .....	viii
KATA PENGANTAR.....	ix
DAFTAR ISI.....	xi
DAFTAR GAMBAR.....	xiv
DAFTAR TABEL.....	xvi
ABSTRAK.....	xvii
ABSTRACT.....	xviii
BAB I.....	1
PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	2
1.3 Pembatasan Masalah .....	2
1.4 Tujuan .....	2
1.5 Manfaat .....	3
1.6 Sistematika Penyusunan Laporan .....	3
BAB II .....	5
DASAR TEORI.....	5
2.1 Tinjauan Pustaka .....	5
2.2 Gardu Induk .....	7
2.3 <i>Lightning Arrester</i> .....	8

2.4	Konstruksi <i>Lightning Arrester</i> .....	8
2.5	Jenis-jenis <i>Lightning Arrester</i> .....	9
2.5.1	Jenis eksplusi .....	9
2.5.2	Jenis katup .....	10
2.5.2.1	Arrester Sela Pasif .....	10
2.5.2.2	Arrester Katup Sela Percik .....	11
2.5.2.3	Arrester Katup Tanpa Sela Perik .....	11
2.5.2.4	Arrester Katup Jenis Distribusi .....	12
2.6	Prinsip Kerja <i>Lightning Arrester</i> .....	12
2.7	Bagian-bagian <i>Lightning Arrester</i> .....	13
2.7.1	<i>Varistor Active (zinc oxide / metal oxide varistor)</i> .....	13
2.7.2	<i>Housing dan Terminal Lightning Arrester</i> .....	14
2.7.3	Pemisah ( <i>Disconnecter</i> ) .....	15
2.7.4	<i>Sealing dan pressure relief system</i> .....	16
2.7.5	<i>Grading Ring</i> .....	17
2.7.6	Peralatan monitoring dan insulasiudukan <i>Lightning Arrester</i> 17	
2.7.7	Struktur penyangga <i>Lightning Arrester</i> .....	18
2.7.8	Elektroda .....	18
2.7.9	Sela percikan ( <i>Spark Gap</i> ) .....	19
2.7.10	Tahanan katup ( <i>valve resistor</i> ) .....	19
2.8	Syarat-syarat <i>Lightning Arrester</i> .....	20
2.9	Karakteristik <i>Lightning Arrester</i> .....	20
2.10	Gangguan <i>Lightning Arrester</i> .....	20
2.10.1	Surja Hubung .....	20
2.10.2	Surja Petir .....	22
2.11	<i>Leakage Current Monitoring (LCM)</i> .....	23
2.12	Regresi Linear .....	27
<b>BAB III</b> .....		29
<b>METODOLOGI PENELITIAN</b> .....		29
3.1	Model Penelitian .....	29

3.2	Alat dan Bahan .....	30
3.2.1	Alat yang digunakan .....	30
3.2.2	Data yang digunakan .....	30
3.3	Tahap Penelitian.....	32
3.4	Parameter Penelitian.....	33
3.5	Flowchart Penelitian .....	34
3.6	Lokasi dan Objek Penelitian .....	35
BAB IV .....		36
HASIL DAN PEMBAHASAN .....		36
4.1	Perhitungan Presentase Arus Bocor .....	36
4.2	Menentukan Peramalan Arus Bocor <i>Lightning Arrester Bay</i> Transformator I Menggunakan Metode Regresi Linear.....	37
4.2.1	Menentukan peramalan arus bocor <i>lightning arrester bay</i> transformator I fasa R.....	38
4.2.2	Menentukan presentase arus bocor <i>lightning arrester bay</i> transformator 1 fasa R .....	41
4.2.3	Menentukan peramalan arus bocor <i>lightning arrester bay</i> transformator I fasa S .....	43
4.2.4	Menentukan presentase arus bocor <i>lightning arrester bay</i> transformator I fasa S .....	46
4.2.5	Menentukan peramalan arus bocor <i>lightning arrester bay</i> transformator I fasa T .....	49
4.2.6	Menentukan presentase arus bocor <i>lightning arrester bay</i> transformator I fasa T .....	52
4.3	Menentukan Kelayakan Kinerja <i>Lightning Arrester</i> Dengan Keputusan Kelayakan Standar PLN .....	54
BAB V.....		59
KESIMPULAN DAN SARAN .....		59
DAFTAR PUSTAKA .....		61
LAMPIRAN.....		63



## DAFTAR GAMBAR

<b>Gambar 2. 1</b> Lighning Arrester .....	8
<b>Gambar 2. 2</b> Kontruksi LA .....	9
<b>Gambar 2. 3</b> Struktur Lightning Arrester jenis eksplusi.....	10
<b>Gambar 2. 4</b> Arrester katup .....	11
<b>Gambar 2. 5</b> Kontruksi Arrester logam oksida.....	11
<b>Gambar 2. 6</b> Kurva Lightning Arrester .....	13
<b>Gambar 2. 7</b> Keping metal oksida .....	14
<b>Gambar 2. 8</b> Housing Lightning Arrester.....	15
<b>Gambar 2. 9</b> Sub konektor.....	15
<b>Gambar 2. 10</b> Pemisah (disconnector).....	16
<b>Gambar 2. 11</b> Sealing dan pressure relief system.....	16
<b>Gambar 2. 12</b> Grading ring.....	17
<b>Gambar 2. 13</b> Peralatan monitoring dan insulatorudukan Lightning Arrester .	17
<b>Gambar 2. 14</b> Struktur penyangga Lightning Arrester .....	18
<b>Gambar 2. 15</b> Elektroda.....	18
<b>Gambar 2. 16</b> Sela percikan (spark gap).....	19
<b>Gambar 2. 17</b> Tahanan katup (valve resistor).....	19
<b>Gambar 2. 18</b> Proses terjadinya petir .....	22
<b>Gambar 2. 19</b> Bentuk standar gelombang surja petir .....	23
<b>Gambar 2. 20</b> Leakage Current Monitoring .....	24
<b>Gambar 2. 21</b> Grafik regresi linear .....	28
<b>Gambar 3. 1</b> Single line diagram Gardu Induk Kebasen .....	29
<b>Gambar 3. 2</b> Name plate LA .....	30
<b>Gambar 3. 3</b> Data arus bocor Lightning Arrester .....	31
<b>Gambar 3. 4</b> Flowchart Penelitian .....	34
<b>Gambar 4. 1</b> Grafik peramalan arus bocor lightning arrester bay transformator I fasa R dengan metode regresi linear .....	41
<b>Gambar 4.2</b> Grafik presentase arus bocor lightning arrester bay transformator I fasa R.....	43

<b>Gambar 4.3</b> Grafik peramalan arus bocor lightning arrester bay transformator I fasa S dengan metode regresi linear.....	46
<b>Gambar 4.4</b> Grafik presentase arus bocor lightning arrester bay transformator I fasa S.....	48
<b>Gambar 4. 5</b> Grafik peramalan arus bocor lightning arrester bay transformator I fasa T dengan metode regresi linear.....	52
<b>Gambar 4. 6</b> Grafik presentase arus bocor lightning arrester bay transformator I fasa T.....	54



## DAFTAR TABEL

<b>Tabel 2. 1</b> Batasan nilai arus bocor .....	24
<b>Tabel 2. 2</b> Rekomendasi hasil pengukuran LCM .....	25
<b>Tabel 2. 3</b> Leakage Current Monitor dan perlengkapannya .....	25
<b>Tabel 3. 1</b> Name plate Lightning Arrester.....	30
<b>Tabel 3. 2</b> Data arus bocor 2022-2024 .....	32
<b>Tabel 4. 1</b> Data arus bocor 2022 sampai 2024 .....	36
<b>Tabel 4. 2</b> Hasil presentase arus bocor pada tahun 2024 .....	37
<b>Tabel 4. 3</b> Perhitungan dengan metode regresi linear .....	38
<b>Tabel 4. 4</b> Peramalan arus bocor lightning arrester 10 tahun kedepan dengan metode regresi linear .....	40
<b>Tabel 4. 5</b> Presentase arus bocor lightning arrester bay transformator I fasa R... 41	
<b>Tabel 4. 6</b> Perhitungan dengan metode regresi linear .....	43
<b>Tabel 4. 7</b> Peramalan arus bocor lightning arrester bay transformator I fasa S ... 45	
<b>Tabel 4. 8</b> Peresentase arus bocor lightning arrester bay transformator I fasa S.. 47	
<b>Tabel 4. 9</b> Perhitungan dengan metode regresi linear .....	49
<b>Tabel 4. 10</b> Peramalan arus bocor lightning arrester bay transformator I fasa T . 51	
<b>Tabel 4. 11</b> Presentase arus bocor lightning arrester bay transformator I fasa T . 53	
<b>Tabel 4. 12</b> Rekomendasi hasil analisa arus bocor lightning arrester tahun 2024-2034.....	55

## ABSTRAK

Gardu Induk Kebasen berada di area persawahan yang memiliki karakteristik lingkungan khusus. Kondisi ini dapat mempengaruhi kinerja *Lightning Arrester*, terutama dalam hal keandalan dan masa pakainya. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui kinerja *Lightning Arrester* Bay Transformator I pada Gardu Induk Kebasen dalam 10 tahun kedepan apakah masih layak bekerja. Pada penelitian ini menggunakan metode regresi linear untuk memprediksi arus bocor yang dihasilkan oleh *Lightning Arrester* dalam 10 tahun ke depan apakah masih layak bekerja. Hasil dari penelitian ini pada tahun 2024 yaitu pengukuran arus bocor pada *Lightning Arrester* Bay Transformator I untuk fasa R, S, dan T berturut-turut adalah 54  $\mu\text{A}$ , 41 $\mu\text{A}$  dan 49  $\mu\text{A}$ . Presentase arus bocor pada ketiga fasa tersebut (R, S, T) masing-masing sebesar 36%, 27% dan 32%, ini sangat aman, jauh di bawah batas maksimum  $\leq 90\%$ . Sedangkan tahun 2032, 2033 dan 2034 pengukuran arus bocor *Lightning Arrester* Bay Transformator I untuk fasa R Presentase arus bocor pada ketiga fasa masing-masing 94%, 101% dan 108% yang berada melebihi dari batas aman maksimum  $\leq 90$ . Dan pada tahun 2034 fasa S, T persentase arus bocor 94% dan 97%. Untuk fasa R tahun 2033 dan 2034 perlu dilakukan penggantian.

**Kata kunci:** Gardu Induk, *Lightning Arrester*, regresi linear, arus bocor



## **ABSTRACT**

*Kebasen Substation is located in a rice field area that has special environmental characteristics. This condition can affect the performance of the Lightning Arrester, especially in terms of reliability and service life. This study aims to determine the performance of the Lightning Arrester Bay Transformer I at the Kebasen Substation in the next 10 years whether it is still feasible to work. This study uses a linear regression method to predict the leakage current generated by the Lightning Arrester in the next 10 years whether it is still feasible to work. The results of this study in 2024, namely the measurement of leakage current on the Lightning Arrester Bay Transformer I for phases R, S, and T, were 54  $\mu A$ , 41  $\mu A$  and 49  $\mu A$ , respectively. The percentage of leakage current in the three phases (R, S, T) was 36%, 27% and 32%, respectively, this is very safe, far below the maximum limit of  $\leq 90\%$ . While in 2032, 2033 and 2034 the measurement of leakage current of Lightning Arrester Bay Transformer I for phase R The percentage of leakage current in the three phases is 94%, 101% and 108% respectively which is above the maximum safe limit  $\leq 90$ . And in 2034 the phase S, T the percentage of leakage current is 94% and 97%. For phase R in 2033 and 2034, replacement is needed.*

**Keywords:** *Substation, Lightning Arrester, linear regression, leakage current*





# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Sistem tenaga listrik memiliki peran krusial dalam menyediakan energi yang handal dan aman bagi konsumen. Salah satu tantangan utama dalam sistem ini adalah perlindungan terhadap gangguan yang disebabkan oleh sambaran petir dan surja hubung. Gardu Induk (GI), sebagai komponen penting dalam transmisi dan distribusi listrik, memerlukan perlindungan yang efektif dari gangguan petir. Untuk tujuan ini, digunakan perangkat pelindung yang disebut *Lightning Arrester* (LA), yang berfungsi mengalihkan arus petir ke tanah dan melindungi peralatan dari kerusakan.

Gardu Induk (GI) Kebasen yang berada di Kabupaten Tegal merupakan salah satu elemen penting dalam jaringan transmisi listrik di daerah tersebut. Gardu Induk ini berfungsi sebagai penghubung antara jaringan transmisi dan distribusi, memastikan aliran listrik yang stabil dan dapat diandalkan untuk masyarakat. Mengingat peran strategis Gardu Induk Kebasen, perlindungan terhadap gangguan eksternal terutama sambaran petir, menjadi sangat penting. Dan gangguan internal contohnya kerusakan material akibat proses penuaan pada *Lightning Arrester* tersebut.

Untuk melindungi peralatan di Gardu Induk Kebasen, digunakan *Lightning Arrester* (LA) jenis *Zinc Oxide* (ZnO). Alat ini dirancang untuk mengalihkan arus petir langsung ke tanah, sehingga mencegah kerusakan pada peralatan yang terhubung. Namun, Gardu Induk Kebasen berada di area persawahan yang memiliki karakteristik lingkungan khusus. Kondisi ini dapat mempengaruhi kinerja *Lightning Arrester*, terutama dalam hal keandalan dan masa pakainya.

Setelah beroperasi selama 10 tahun, *Lightning Arrester* di Gardu Induk Kebasen menunjukkan penurunan kinerja yang terindikasi oleh peningkatan arus bocor. Peningkatan arus bocor ini bisa menjadi tanda awal dari penurunan kualitas isolasi dan kemungkinan kegagalan *Lightning Arrester*. Mengingat peran penting

*Lightning Arresster* dalam menjaga stabilitas operasional Gardu Induk Kebasen, sangat penting untuk melakukan penilaian menyeluruh terhadap kinerja *Lightning Arrester* tersebut.

Penelitian ini akan menilai kelayakan kinerja *Lightning Arrester* di Gardu Induk Kebasen dengan fokus pada analisis arus bocor yang diukur antara tahun 2022 dan 2024 dan meramal 10 tahun ke depan. Data ini akan dianalisis untuk menentukan apakah *Lightning Arrester* masih layak digunakan atau perlu diganti. Dengan mempertimbangkan usia *Lightning Arrester* di Gardu Induk Kebasen, penelitian ini diharapkan dapat memberikan pemahaman yang lebih mendalam tentang kondisi aktual *Lightning Arrester* dan pemeliharaan yang diperlukan untuk memastikan keandalan Gardu Induk Kebasen di masa depan.

### **1.2 Rumusan Masalah**

1. Bagaimana kinerja *Lightning Arrester* (LA) yang terpasang selama 10 tahun pada Gardu Induk (GI) 150 kv Kebasen ?
2. Bagaimana kinerja *Lightning Arrester* (LA) untuk 10 tahun kedepan apakah masih memenuhi standar SPLN T5.007.2014.?

### **1.3 Pembatasan Masalah**

Berdasarkan latar belakang yang telah dibahas sebelumnya, didapatkan batasan-batasan masalah penelitian ini, yaitu sebagai berikut :

1. Penelitian ini mengukur arus bocor *Lightning Arrester* di Gardu Induk Kebasen 150 kv.
2. Penelitian ini menggunakan tipe *Lightning Arrester* ZnO.
3. Pengambilan data yang digunakan dari tahun 2022 sampai 2024.
4. Penentuan kinerja *Lightning Arrester* berdasarkan data arus bocor menggunakan alat *Leakage Current Monitoring*.

### **1.4 Tujuan**

Tujuan dari penelitian ini yaitu ssebagai berikut :

1. Mengetahui layak dan tidaknya kinerja *Lightning Arrester* (LA) pada Gardu Induk (GI) 150 kv Kebasen.

2. Mengetahui kinerja *Lightning Arrester* (LA) dalam 10 tahun kedepan yang terpasang pada Gardu Induk 150 kv Kebasen.

### 1.5 Manfaat

Adapun manfaat yang diharapkan dalam penelitian ini, yaitu :

1. Mengetahui *Lightning Arrester* yang digunakan masih layak atau sudah tidak layak.
2. Mengetahui tindakan apa yang diperlukan dalam pemeliharaan peralatan proteksi.
3. Membantu memperkirakan arus bocor *Lightning Arrester* dalam 10 tahun kedepan.
4. Memperbanyak bahan literasi tentang kerja *Lightning Arrester*.

### 1.6 Sistematika Penyusunan Laporan

Sistematika penulisan laporan tugas akhir dengan judul “Uji Kelayakan *Lightning Arrester* (LA) Jenis ZnO Berdasarkan Arus Bocor pada Gardu Induk 150 kV Kebasen dengan Metode Regresi Linear” ini disusun dalam lima bab, dengan susunan sebagai berikut:

#### BAB I : PENDAHULUAN

Berisi latar belakang, tujuan manfaat, dan sistematika penyusunan laporan yang ingin disampaikan.

#### BAB II : DASAR TEORI

Berisi teori-teori dan publikasi yang telah diakui sebagai literatur untuk penulisan laporan tugas akhir.

#### BAB III : METODE PENELITIAN

Membahas mengenai langkah-langkah melakukan penelitian dan metode yang digunakan dalam penelitian.

#### BAB IV : HASIL DAN PEMBAHASAN

Bab ini akan menjelaskan mengenai hasil penelitian yang telah dilakukan terkait perhitungan peramalan arus bocor *Lightning Arrester* bay transformator I Garduk Induk 150 kV Kebasen dengan metode regresi linear untuk 10 tahun ke depan, serta presentase arus bocor *Lightning Arrester* bay transformator I Gardu Induk 150 kV Kebasen untuk menentukan kelayakan kinerja *Lightning Arrester* apakah masih sesuai dengan SPLN T5.007.2014.

#### BAB V : PENUTUP

Bab ini berisikan tentang kesimpulan dan saran. Dari hasil penelitian dan analisa, maka dapat terdapat beberapa kesimpulan. Selain itu, terdapat saran yang dimana saran tersebut dapat digunakan guna untuk mengembangkan penelitian selanjutnya.



## BAB II

### DASAR TEORI

#### 2.1 Tinjauan Pustaka

Tinjauan pustaka ini tidak lepas dari referensi dan digunakan sebagai pembandingan dari penelitian sebelumnya, berikut beberapa penelitian sebelumnya yang memiliki judul atau topik yang sama.

- a. Penelitian yang berjudul **Kinerja Arrester Yang Sudah Berusia Lebih Dari 10 Tahun Di Gardu Induk 150 KV Ungaran-Semarang**. Yang disusun oleh Andriawan dalam penelitiannya menggunakan metode penelitian menghabungkan pendekatan kualitatif dan kuantitatif atau bisa dibilang metode komperhensif untuk mengevaluasi kinerja arrester penuaan secara efektif. Metode komperhensif ini memastikan bahwa kesimpulan penelitian didukung dengan baik oleh bukti empiris dan wawasan ahli. Tujuan penelitian ini untuk mengetahui kinerja arrester yang berusia lebih dari 10 tahun. Dari hasil terdapat dapat disimpulkan bahwa kinerja *Lightning Arrester* berumur diatas 10 tahun yang dipasang pada gardu induk Ungaran 150 kv adalah 95,83 % dalam kondisi baik dan layak dioperasikan sedangkan 4,16% memerlukan perawatan[1].
- b. Penelitian yang berjudul **Performance analysis of Lightning Arrester in Likupang Switcyard**. Disusun oleh Timoni Zefanya Limiu, Lily S. Patras, Glannly M.C Mangidaan dalam penelitiannya menggunakan metode penelitian komperhensif, melibatkan pengukuran lapangan, pengumpulan data, analisis komperatif, dan pertimbangan faktor lingkungan, semua bertujuan untuk memastikan kinerja efektif lightning arrester. Tujuan penelitian ini untuk meningkatkan keamanan dan keandalan sistem kelistrikan di lingkungan yang rentan terhadap sambaran petir. Berdasarkan dari hasil pengukuran yang diperoleh, pengukuran presentase nilai arus bocor, untuk bay line Bitung itu sebesar 4.14 % (nilai presentase tertinggi). Dari hasil pengukuran presentase arus bocor yang didapat, hasilnya sangat baik karena sesuai dengan standart pengukuran LCM yang ditentukan yaitu  $\leq 90$  %[2].



- c. Penelitian yang berjudul **Analisis Arus Bocor Resitif pada Sistem Proteksi Lightning Arrester Bay Kedinding di Gardu Induk 150 kV Kenjeran Surabaya**. Disusun oleh Alfian Wahyu Ramadahani dalam penelitiannya menggunakan metode penelitian survai dengan pendekatan kuantitatif atau metode komperhensif arus bocor pada lightning arrester, memastikan bahwa temuan tersebut dapat diandalkan dan dapat diterapkan. Tujuan penelitian ini adalah bagaimana perhitungan arus bocor resitif dan perhitungan kondisi *lightning arrester* dengan membandingkan hasil dengan standar PLN dan bagaimana mencari galat kondisi antara perhitungan dan pengukuran. Berdasarkan hasil analisis arus bocor resitif pada Bay Kedinding di Gardu Induk 150 kV Kenjeran Surabaya didapatkan perhitungan arus bocor resitif yang dikoreksi bernilai 26-46  $\mu\text{A}$  nilai tersebut masih standart arus bocor maksimal yang ditetapkan PLN yaitu 150  $\mu\text{A}$ , untuk hasil kondisi perhitungan yang didapatkan sebesar 17 % - 31 % dan masih dalam standart PLN yaitu  $\leq 90$  %[3].
- d. Penelitian yang berjudul **Kinerja Lightning Arrester Yang Berusia Lebih Dari 30 Tahun Di Gardu Induk 150 kV Sronдол PT. PLN (Persero) UPT Semarang**. Disusun oleh Iqbal Pugar Ramadhan dalam penelitiannya menggunakan metode metode komperhensif yaitu pengumpulan data, penggunaan teknik analisis, penekanan kuat pada keandalan, tinjauan literatur menyeluruh, dan data yang diambil yaitu data suhu terminal dan arus bocor untuk analisis regresi usia. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui kinerja Lightning Arrester yang berusia lebih dari 30 tahun di Gardu Induk 150 kV Sronдол PT. PLN (Persero) UPT Semarang. Berdasarkan hasil penelitian, kemudian dapat diketahui bahwa kinerja Lightning Arrester berdasarkan suhu terminal dan arus bocor Lightning Arrester menunjukkan nilai presentase dengan kondisi 97,91 % baik dan masih layak untuk beroperasi dan batas usia rata-rata yaitu 37 tahun[4].
- e. Penelitian yang berjudul **Penentuan Kelayakan Arus Bocor Lightning Arrester Di Gardu Induk 150 KV Cepu**. Disusun oleh Ahmad Rizal Abidin dalam penelitiannya menggunakan metode penelitian yang digunakan adalah analisis deskriptif, yang berfungsi untuk memeberikan gambaran rinci dan

struktur dari subjek penelitian. Penelitian ini bertujuan untuk menentukan kelayakan arus bocor Lightning Arrester di Gardu Induk Cepu dengan melakukan Analisa pengukuran dan perhitungan arus bocor pada Lightning Arrester berdasarkan data sekunder PLN menggunakan alat uji LCM (*Leakage Current Measurement*) dan menggunakan alat uji Thermovisi untuk mendapatkan hasil perhitungan dan pengukuran arus bocor Lightning Arrester. Hasil pengukuran dan perhitungan di Bay penghantar Bojonegoro 2 nilai arus resitif fasa R = 518  $\mu\text{A}$  dan nilai corrective fasa R = 778  $\mu\text{A}$ . sesuai batas yang ditentukan oleh PLN  $\mu\text{A}$  hal ini menandakan bahwa kondisi Lightning Arrester kurang baik. Maka dari itu harus diperluakan maintenance secara rutin atau bias dilakukan penggantian Lightning Arrester[5].

## 2.2 Gardu Induk

Gardu induk merupakan bagian dari sistem energi listrik, oleh karena itu tergantung fungsinya harus dilindungi dari gangguan yang menyebabkan terganggunya distribusi energi listrik[5]. Gardu induk ialah sebuah bagian dari sistem pembangkit listrik yang meliputi pembangkit, transmisi dan distribusi. Dalam penyaluran energi listrik perlu adanya pengaman pada setiap komponen listrik. Oleh karena itu Gardu Induk membutuhkan peralatan yang mampu melindungi dari sambaran petir, peralatan yang dapat melindungi dari gangguan petir yaitu Lightning Arrester[6].

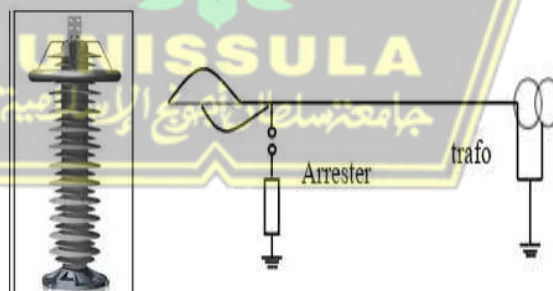
Gardu Induk dikontrol untuk saling terhubung dengan gardu induk lainnya supaya bias interkoneksi sehingga bisa menyalurkan energi listrik secara kontinyu dan handal, fungsi Gardu Induk yaitu :

1. Transformasi tenaga listrik tegangan tinggi yang satu ke tegangan tinggi yang lainnya atau tegangan menengah.
2. Pengukuran, pengawasan operasi serta pengaturan pengamanan dari sistem tenaga listrik.
3. Mengatur penyaluran daya ke gardu-gardu lain melalui tegangan tinggi dan ke gardu-gardu distribusi setelah melalui proses penurunan tegangan melalui penyulang (*feeder*) tegangan menengah.

### 2.3 *Lightning Arrester*

*Lightning Arrester* merupakan salah satu alat proteksi yang digunakan pada sistem kelistrikan pada pembangkit listrik, sistem transmisi, dan system distribusi. Sesuai dengan *Institute of Electrical and Electronis Engineers (IEEE) Standard 487-2015*. *Lightning Arrester* adalah suatu alat yang dirancang untuk melindungi peralatan lain dari lonjakan arus (baik lonjakan rangkaian maupun lonjakan petir) dan pengaruh arus yang menyertainya. Arrester harus mampu bertindak sebagai isolator, membawa arus bocor beberapa milliampere ke tanah pada tegangan sistem, dan berubah menjadi konduktor yang sangat baik, membawa arus lonjakan beberapa ribu ampere ke tanah mempunyai tegangan lebih rendah dari tegangan tanah[7].

Untuk menjamin sistem tidak terganggu, terdapat gardu penangkal petir yang di sebut arrester, yang fungsinya melindungi instalasi listrik dan peralatan listrik pada gardu induk dari lonjakan arus yang disebabkan oleh petir atau lonjakan arus listrik. *Lightning Arrester* ini bertindak sebagai jalan pintas di sekitar isolasi, membentuk jalur untuk meratakan arus melalui sambaran petir untuk menghindari lonjakan tegangan tinggi pada perangkat[8]. *Lightning Arrester* di Gardu Induk dapat di lihat pada gambar 2.1.

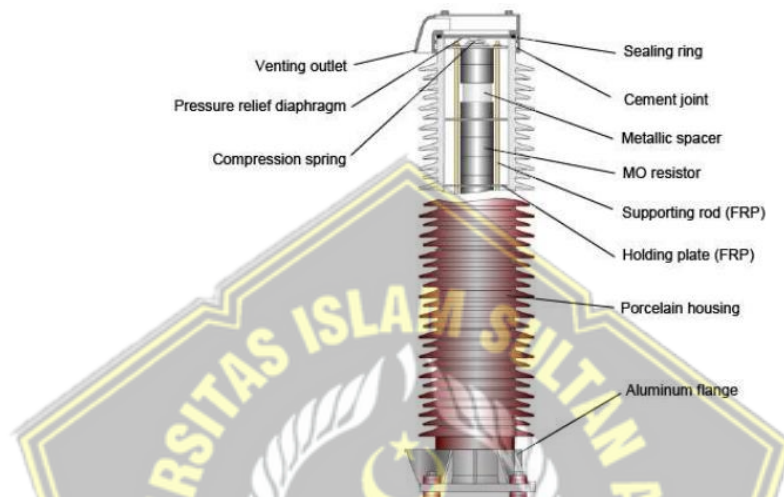


**Gambar 2. 1** Lighning Arrester[9]

### 2.4 *Kontruksi Lightning Arrester*

*Lightning Arrester (LA)* pada saluran transmisi atau gardu induk memiliki konstruksi yang hampir serupa. Komponen utama adalah *varistor* atau elemen aktif yang terbuat dari *Zinc Oxide*, yang berbentuk blok dan disusun di dalam rumah atau kompartemen yang terbuat dari porselen atau polimer. Rumah ini tidak hanya memberikan dukungan struktural tetapi juga mengisolasi bagian aktif dari tanah

pada tegangan operasi *Lightning Arrester*. Selain itu, *Lightning Arrester* dilengkapi dengan katup pelepas tekanan di kedua ujungnya, yang berfungsi untuk melepaskan tekanan internal berlebih ketika arrester mengalami arus lonjakan. Komponen pendukung lainnya dari *Lightning Arrester* termasuk struktur penyangga, cincin grading, sistem pentanahan, dan peralatan pemantauan.



**Gambar 2. 2** Kontruksi LA[9]

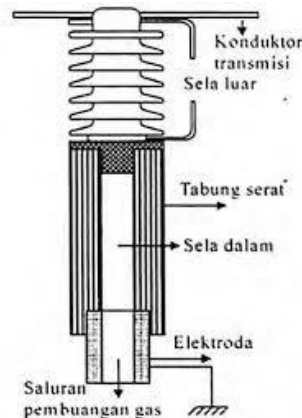
## 2.5 Jenis-jenis Lightning Arrester

Menurut Ibnu Hajar dan Eko Rahma, penangkal petir ada dua jenis yaitu[10] :

### 2.5.1 Jenis eksplusi

*Lightning Arrester* digunakan pada system tenaga listrik dengan tegangan sampai dengan 33 kV. Arrester ini mempunyai dua ruang, yaitu ruang luar dengan celah percikan batang atau *spacer* seri dan ruang dalam dengan celah percikan batang. *Lightning Arrester* mampu mentransmisikan frekuensi tegangan tinggi tanpa menimbulkan arus corona atau kebocoran ke tanah karena dilengkapi dengan elektroda.

Karakteristik arrester jenis eksplusi lebih baik dibandingkan dengan arrester batang karena dapat memutus arus dan volt-waktu namun tegangan percikan impuls lebih tinggi dibandingkan dengan arrester katup. Besarnya arus hubung singkat pada arrester mempengaruhi kemampuannya dalam memutus arus sisa. Di bawah ini menunjukkan struktur *Lightning Arrester* jenis eksplusi dapat dilihat pada gambar 2.3.



**Gambar 2. 3** Struktur *Lightning Arrester* jenis eksplusi[9]

Bila tegangan terlalu tinggi sampai kejepitan arrester kedua sela percik maka akan tembus dan jalan penghantar yang berbentuk busur api akan terbentuk seketika. Arrester akan menjadi konduktor dengan impedansi rendah dan akan menghantarkan surja arus dan arus daya sistem secara bersamaan. *Lightning arrester* dapat memadamkan busur listrik bila arus mengalir melebihi titik nol, dengan prinsip bila ada panas dari arus petir yang melewatinya yang membuat sedikit bahan dinding tubuh serat menguap dan membentuk gas untuk mematikan busur api. Jika hal ini tidak menimbulkan gangguan lonjakan arus pada arrester lamanya akan kurang dari setengah gelombang.

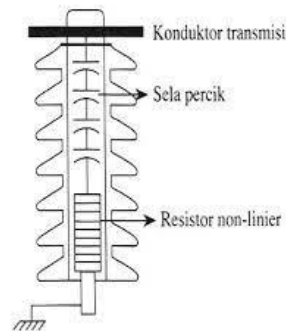
## 2.5.2 Jenis katup

Menurut Ibnu Hajar dan Eko Rahman, *Lightning Arrester* meliputi dua celah percikannya, yaitu [10]:

### 2.5.2.1 Arrester Sela Pasif

Jaringan distribusi udara, salah satunya menggunakan alat *Lightning Arrester* katup sela pasif. Berikut ini menunjukkan arrester katup dapat dilihat pada gambar 2.4.





**Gambar 2. 4** Arrester katup[9]

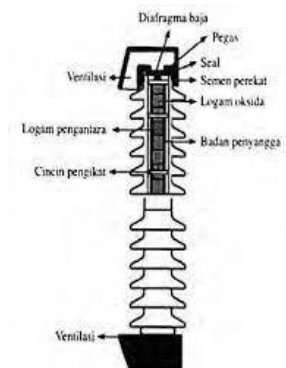
*Lightning Arrester* sela pasif terdiri dari lapisan insulasi tertutup yang di dalamnya terdapat celah percikan, resistor non linier, dan tabung insulasi. Celah percikan terdiri dari banyak pelat elektroda yang tersusun secara seri. Pengoprasian arrester tidak terpengaruh oleh udara sekitar karena sela percik dan resistor linier ditempatkan dalam tabung isolasi tertutup.

#### 2.5.2.2 Arrester Katup Sela Percik

Arrester ini banyak digunakan pada jaringan tegangan tinggi dan pusat jaringan distribusi. Metode pemadaman busur api pada sela percik ada pada konstruksinya dan untuk konstruksi lain sama seperti arrester sela pasif.

#### 2.5.2.3 Arrester Katup Tanpa Sela Percik

Arrester dapat digunakan pada level tegangan berapa pun tanpa mengganggu percikan api. Arrester katup tanpa isolator percikan tersebut MO karena menggunakan resistor non linier yang terbuat oksida logam. Di bawah ini menunjukkan konstruksi arrester tanpa sela percik dapat dilihat pada gambar 2.5.



**Gambar 2. 5** Kontruksi Arrester logam oksida[9]



Berdasarkan penempatannya arrester katup terbagi dalam tiga jenis :

1. Arrester Katup Jenis Gardu

Arrester tipe yang paling efisien dan termahal adalah jenis gardu. Arrester katup tipe gardu digunakan di gardu induk dengan rentang tegangan 2400 V hingga 287 kV untuk melindungi peralatan mahal pada rangkaian.

2. Arrester Katup Jenis Saluran

Arrester katup saluran lebih murah dibandingkan arrester jenis gardu. Saluran ini tidak digunakan untuk perlindungan transmisi namun digunakan oleh gardu induk untuk melindungi peralatan non-kritis. Arrester jenis ini digunakan pada tegangan antara 15 kV hingga 69 kV.

3. Arrester Jenis Gardu Untuk Mesin

Arrester tipe gardu ini dirancang khusus untuk melindungi mesin berputar dengan tegangan antara 2,4kV hingga 15 kV.

#### 2.5.2.4 Arrester Katup Jenis Distribusi

Arrester katup distribusi digunakan untuk melindungi mesin yang berputar dan melindungi transformasi dengan pendinging udara bebas minyak. Pada jenis arrester ini tegangannya berkisar antara 120 volt hingga 750 volt.

#### 2.6 Prinsip Kerja *Lightning Arrester*

*Lightning Arrester* dalam keadaan normal, arrester berfungsi sebagai isolator namun saat terjadi sambaran petir arrester bertindak sebagai konduktor dengan resistansi relatif rendah mengalirkan arus lonjakan ke tanah. Setelah tegangan lebih hilang arrester harus segera berfungsi sebagai isolator kembali agar pemutus arus (PMT) tidak sempat terbuka. Variasi tegangan lonjakan pada kurva dibawah ini menunjukkan bagaimana arrester memblokir tegangan lonjakan ketika terjadi jenis lonjakan yang berbeda[9]. Adapun di bawah ini menunjukkan kurva Arrester pada gambar 2.6.



**Gambar 2. 6** Kurva Lightning Arrester[9]

Melalui kurva tersebut terlihat bahwa durasi overvoltage berbeda satu sama lain, yaitu :

1. *Lightning Overvoltage – fast front overvoltage (Durasi Microseconds)*
2. *Switching Overvoltage – slow front overvoltage (Durasi Miliseconds)*
3. *Temporary Overvoltage – TOV (Dusari seconds)*

## 2.7 Bagian-bagian *Lightning Arrester*

Adapun bagian-bagian peralatan proteksi tegangan lebih *Lightning Arrester* dapat dibagi menjadi 10 bagian, yaitu sebagai berikut[9] :

### 2.7.1 *Varistor Active (zinc oxide / metal oxide varistor)*

*Metal oksida* atau *varistor* logam adalah perangkat yang sangat umum untuk melindungi sistem tegangan rendah. Ini terdiri dari kolom *varistor* yang terbuat dari *zinc oxida* (ZnO). Keping *zinc oxida* dicetak dalam bentuk silinder, yang diameternya bervariasi tergantung pada kapasitas penyerapan energi dan nilai arus pelepasan. Adapun di bawah ini menunjukkan keping *metal oksida* dapat dilihat pada gambar 2.7.

Ukuran diameter pelat ZnO bervariasi, mulai dari 30 mm untuk arrester kelas distribusi hingga 100 mm untuk arrester HV/EHV. Tinggi setiap pelat blok berada dalam rentang 20 hingga 45 mm. Besarnya tegangan sisa pada setiap pelat ZnO saat dilalui arus lonjakan bergantung pada ukuran diameternya. Sebagai contoh, pelat dengan diameter 32 mm memiliki tegangan sisa sebesar 450 V/mm, sedangkan pelat dengan diameter 70 mm memiliki tegangan sisa yang lebih rendah, yaitu 280 V/mm. Dengan demikian, satu pelat ZnO berdiameter 70 mm dan setinggi 45 mm

mampu menahan tegangan sisa sebesar 12,5 kV. Untuk mencapai tegangan sisa sebesar 823 kV, diperlukan 66 pelat ZnO yang disusun secara vertikal. Hal ini menyebabkan tinggi *Lightning Arrester* mencapai 3 meter, yang berpotensi mengurangi stabilitas mekanisnya. Oleh karena itu, *Lightning Arrester* dirancang untuk dipasang dalam konfigurasi bertingkat atau ditumpuk.

Besarnya diameter *varistor*, jumlah blok *varistor* secara paralel kapasitansi bocor dan tegangan operasi dapat mempengaruhi variasi nilai komponen kapasitif kemudian dipresentasikan dalam persamaan berikut :

$$I_r = I_t - I_c \dots \dots \dots (2-1)$$

Keterangan :

$I_r$  = Arus bocor resistif

$I_c$  = Arus bocor kapasitif

$I_t$  = Arus bocor total

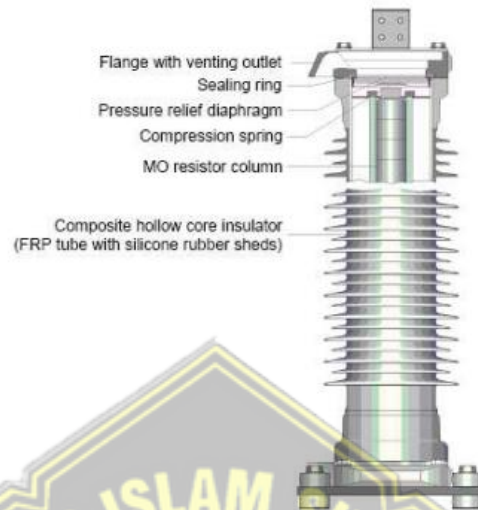


**Gambar 2. 7** Keping metal oksida[9]

### 2.7.2 *Housing dan Terminal Lightning Arrester*

Tumpukan keping ZnO ditempatkan di dalam sangkar batang yang biasanya terbuat dari Susunan keping ZnO ditempatkan di dalam rangka batang yang umumnya terbuat dari FGRP (*Fiber Glass Reinforced Plastic*). Untuk menjaga kekuatan mekanis susunan keping ZnO, pegas tekan dipasang di kedua ujung kolom aktif. *Housing* kompartemen dibuat dari bahan porselen atau polimer. Pada kedua

ujung *housing*, *flange* aluminium dipasang dan direkatkan menggunakan semen. Berikut ini menunjukkan *housing Lightning Arrester* dapat dilihat pada gambar 2.8.



**Gambar 2. 8** *Housing Lightning Arrester*[9]

Dibawah ini adalah sub konektor untuk kedua jenis konektor (pejal dan plat) yang dipasang pada ujung *Lightning Arrester*. Adapun di bawah ini menunjukkan sub konektor dapat dilihat pada gambar 2.9.

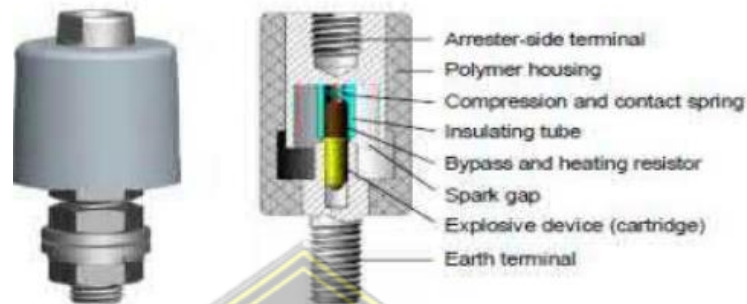


**Gambar 2. 9** Sub konektor[9]

### 2.7.3 Pemisah (*Disconnect*)

*Disconnect* adalah perangkat yang terletak di terminal *ground Lightning Arrester*, berfungsi untuk memutuskan *Lightning Arrester* dari sistem saat terjadi gangguan seperti kelebihan beban. Perangkat ini memiliki peran penting dalam mempertahankan integritas polimer pada *housing Lightning Arrester*. Jika terjadi malfungsi atau kerusakan selama pengoperasian, *housing Lightning Arrester* tetap terlindungi karena perangkat eksplosif akan terlepas dari sambungan *Lightning*

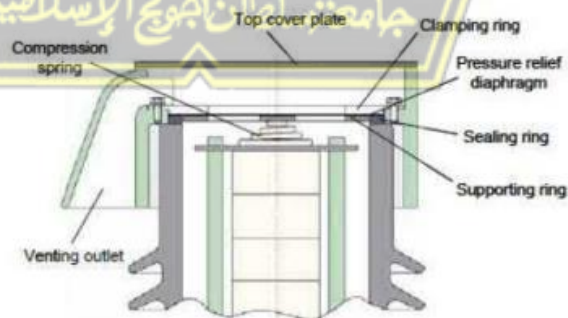
*Arrester*. Tanpa *disconnector*, sistem netral akan tetap terhubung ke *Lightning Arrester* saat terjadi kegagalan, sehingga fungsinya tidak lagi optimal. Dibawah ini menunjukkan pemisah (*disconnector*) dapat dilihat pada gambar 2.10.



**Gambar 2. 10** Pemisah (*disconnector*)[9]

#### 2.7.4 *Sealing dan pressure relief system*

*Sealing dan pressure relief system* dipasang di setiap ujung *Lightning Arrester*. *Sealing* dibuat dari bahan sintesis, sementara pelepas tekanan terbuat dari baja atau nikel berkualitas tinggi. Komponen *pressure relief system* berfungsi sebagai katup untuk mengeluarkan tekanan internal ketika arrester melepaskan arus berlebih akibat sambaran petir. Berikut ini menunjukkan *sealing dan pressure relief system* dapat dilihat pada gambar 2.11.



**Gambar 2. 11** *Sealing dan pressure relief system*[9]



### 2.7.5 Grading Ring

*Grading ring* diperlukan untuk *Lightning Arrester* yang tingginya lebih dari 1,5 meter atau dipasang bertingkat. *Grading ring* digunakan untuk mengontrol distribusi medan listrik sepanjang permukaan *Lightning Arrester*. Medan elektrik pada bagian yang dekat dengan tegangan lebih tinggi, sehingga beban pada bagian aktif dilokasi ini jauh lebih tinggi dibandingkan dilokasi di bawahnya. Stress ini dapat menyebabkan degradasi komponen bagian aktif. Di bawah ini menunjukkan *grading ring* dapat dilihat pada gambar 2.12.



Gambar 2. 12 *Grading ring*[9]

### 2.7.6 Peralatan monitoring dan insulasiudukan *Lightning Arrester*

*Lightning Arrester* perlu dilengkapi dengan perangkat pemantau, yaitu *discharge counter* dan *milliammeter* (mA). Sebelum proses grounding dilakukan, kabel ground harus terlebih dahulu melewati perangkat pemantau ini. Oleh karena itu, isolator kedudukan harus dipasang dengan tepat pada kedua ujung perangkat pemantau dan kedudukan *Arrester*, sehingga arus yang mengalir melalui *Lightning Arrester* hanya dialirkan melalui kabel *ground*. Berikut ini menunjukkan peralatan monitoring dan insulator kedudukan *Lightning Arrester* dapat dilihat pada gambar 2.13.



Gambar 2. 13 Peralatan *monitoring* dan *insulator* kedudukan *Lightning Arrester*[9]



### 2.7.7 Struktur penyangga *Lightning Arrester*

*Lightning Arrester* dipasang pada ketinggian tertentu diatas permukaan tanah, sehingga memerlukan struktur pendukung yang terdiri dari pondasi yang kuat dan stabil serta struktur pendukung baja. Berikut ini menunjukkan struktur penyangga *Lightning Arrester* dapat dilihat pada gambar 2.14.



**Gambar 2. 14** Struktur penyangga *Lightning Arrester*[9]

### 2.7.8 Elektroda

Elektroda merupakan bagian penghubung *Lightning Arrester*. *Lightning Arrester* memiliki dua elektroda salah satunya elektroda atas yang dihubungkan langsung ke bagian aktif (kabel konduktor/fasa) dan lainnya adalah elektroda bawah yang dihubungkan ke bumi. Berdasarkan tegangannya, elektroda *Lightning Arrester* diklasifikasikan menjadi dua jenis yaitu elektroda tiga fasa dan elektroda dua fasa. Di bawah ini menunjukkan elektroda dapat dilihat pada gambar 2.15.



**Gambar 2. 15** Elektroda[9]

### 2.7.9 Sela percikan (*Spark Gap*)

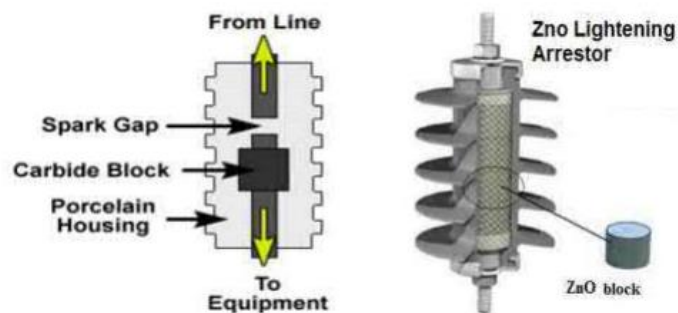
Jika terjadi tegangan lebih akibat sambaran petir atau hubung singkat (*switching*) *Lightning Arrester* yang terpasang, maka akan terjadi loncatan bola api (busur api) pada celah percikan. Pada beberapa jenis *Lightning Arrester* tekanan gas yang dihasilkan oleh pembakaran tabung serat akan memadamkan busur api. Umumnya sela percikan terletak di dalam tabung keramik yang diisi dengan gas inert (gas tabung pelepasan). Berikut ini menunjukkan sela percikan (*spark gap*) dapat dilihat pada gambar 2.16.



Gambar 2. 16 Sela percikan (*spark gap*)[9]

### 2.7.10 Tahanan katup (*valve resistor*)

Tahanan yang digunakan pada *Lightning Arrester* ini merupakan jenis material yang karakteristik resistensinya berubah-ubah sesuai dengan perubahan tegangan. Resistor katup dibagi menjadi dua jenis berdasarkan bahannya *silicon carbid (SiC)* dan *Zinc oksida (ZnO)*. Di bawah menunjukkan tahanan katup (*valve resistor*) dapat dilihat pada gambar 2.17.



Gambar 2. 17 Tahanan katup (*valve resistor*)[9]

## 2.8 Syarat-syarat *Lightning Arrester*

*Lightning Arrester* yang dipasang harus memenuhi syarat-syarat sebagai berikut :

1. *Lightning Arrester* harus mampu mengalirkan arus surja ke tanah tempat Merusuk lighining arrester itu sendiri
2. *Lighining Arrester* harus mampu memustuskan arus susulan, dan dapat bekerja kenbali seperti semula.
3. *Lightning Arrester* harus memiliki haraga ketahanan pentahan di bawah 5 ohm.

## 2.9 Karakteristik *Lightning Arrester*

Untuk menentukan tegangan terminal peralatan yang dilindungi, maka *Lightning Arrester* merupakan alat pelindung yang dapat diandalkan pada saat ini maka perlu diketahai dangan jelas karakteristik dari *Lighining Arrester* tersebut adalah ;

1. Mempunyai tegangan dasar (*rated*) dan frekuensi 50 Hz yang tidak boleh dilampaui.
2. Mempunyai karakteristik yang dibatasi oleh tegangan bila dilalui oleh berbagai macam arus listrik.
3. Mempunyai batas *thiermis*

Maka *lightning arrester* adalah sebuah peralatan yang mempunyai rating tegangan arester. Arrester tersebut tidak boleh dikenakan tegangan yang melebihi rating ini, baik dalam keadaan normal maupun dalam keadaan hubung singkat, sebab arrester ini dalam menjalankan fungsinya harus menanggung tegangan sistem normal dan tegangan lebih 50 Hz. Karakteristik pembatas tegangan *impuls* dan arrester adalah harga yang dapat di tanahkan pada terminal bila menyalurkan arus tertentu[11].

## 2.10 Gangguan *Lightning Arrester*

Ada dua gangguan yang terjadi pada *Lightning Arrester* yaitu :

### 2.10.1 Surja Hubung

Tegangan lebih atau surja hubung disebabkan oleh peristiwa yang disebabkan oleh pembukaan dan penutupan saklar yang dapat menimbulkan

hubungan pendek[12]. Hubung singkat adalah ketika penghantar pembawa arus atau penghantar tidak membawa arus dihubungkan secara langsung tanpa media (resistansi/beban) yang sesuai, sehingga mengakibatkan akiran arus yang tidak normal (sangat besar). Hubung singkat merupakan salah satu jenis gangguan yang sering terjadi pada jaringan tenaga listrik, khususnya pada saluran saluran udara 3 fasa.

Seluruh bagian peralatan listrik selalu diisolasi dari benda padat, cair (minyak), udara, gas, dan lain-lain. Namun karena penuaan, keausan, tekanan mekanis, dan alasan lainnya, kekuatan isolasi peralatan listrik dapat menurun atau hilang. Surja hubung salah satunya disebabkan oleh proses pemberian tenaga (*energized*), yaitu proses mengalir sebuah saluran transmisi dalam keadaan tanpa beban dengan sumber tegangan melalui opsai penutupan saklar[13].

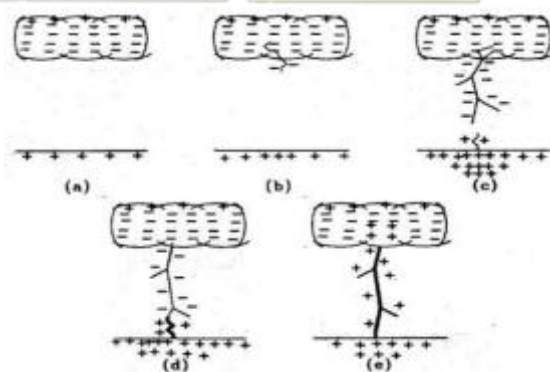
Beberapa kemungkinan penyebab terjadinya surja hubung pada sistem tenaga:

1. Pengisian saluran transmisi dan kabel
  - a. Pengisian saluran yang sisi jauhnya terbuka.
  - b. Pengisian saluran yang memiliki terminal trafo pada keadaan tak berbeban.
  - c. Pengisian saluran transmisi ketika digunakan recloser
2. Pengisian kembali saluran transmisi ketika digunakan recloser kecepatan tinggi.
3. *Load rejection*, dipengaruhi oleh pembukaan circuit breaker pada ujung saluran yang jauh dan juga diikuti pembukaan pada ujung sisi kirim.
4. Proses *switching* “*on-off*” dari peralatan. Semua operasi *switching* pada elemen jaringan transmisi akan menghasilkan surja, terutama peralatan berikut :
  - a. *Switching reactor* tegangan tinggi
  - b. *Switching* trafo yang dibebani oleh reactor pada belitan tersiernya
  - c. *Switching* pada trafo tak berbeban
  - d. Pada saat terjadi kegagalan atau pemutusan sistem yang mengalami kegagalan

### 2.10.2 Surja Petir

Surja petir merupakan lonjakan arus atau tegangan listrik yang muncul secara mendadak akibat sambaran petir. Lonjakan ini memiliki amplitudo yang sangat besar, yang dapat mencapai puluhan hingga ratusan ribu ampere dalam waktu yang sangat singkat, biasanya hanya dalam hitungan mikrodetik. Fenomena ini disebabkan oleh perbedaan tegangan yang sangat tinggi antara awan dan tanah, atau antar awan, sehingga memicu pelepasan muatan listrik secara tiba-tiba dan dapat terjadi secara langsung maupun tidak langsung. Sambaran tidak langsung terjadi ketika petir terlebih dahulu mengenai kabel penghantar, kemudian energi listriknya merambat ke peralatan listrik, yang berpotensi menyebabkan kerusakan[14].

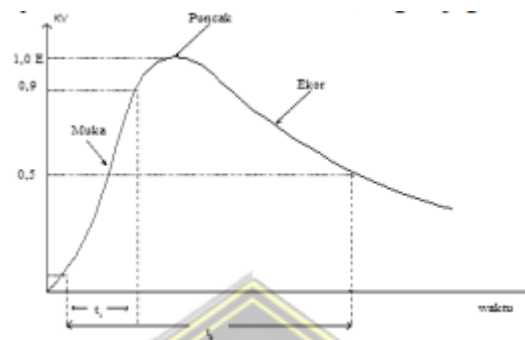
Bumi adalah gudangnya muatan positif dan negatif. Ketika pelepasan petir terjadi di dekat bumi, maka sambaran petir akan terjadi di bumi. Apabila petir menyambar langsung pada suatu penghantar, kemungkinan besar penghantar tersebut akan terbuka karena gelombang petir menghasilkan tegangan lonjakan yang melebihi BIL (*Basic Insulation Level*) penghantar tersebut. Jika petir menyambar suatu konduktor dan oleh petir, bukan sambaran langsung, maka pergerakan gelombang petir merambat ke segala arah. Gelombang dihasilkan sepanjang jaringan dan ditransmisikan ke titik lain di mana arus petir dapat dinetralkan ke tanah[15]. Dibawah ini menunjukkan proses terjadinya petir dapat dilihat pada gambar 2.18.



**Gambar 2. 18** Proses terjadinya petir[6]



Dibawah ini menunjukkan karakteristik standar gelombang surja petir, dimana  $t_1$  menggambarkan waktu muka gelombang dan  $t_2$  menunjukkan waktu ekor gelombang dapat dilihat pada gambar 2.19.



**Gambar 2. 19** Bentuk standar gelombang surja petir[6]

Sambaran petir terdiri dari :

1. Sambaran langsung adalah sambaran petir ke tanah fasa konduktor dan penunjang fasa konduktor (tiang). Tetapi yang sering terjadi adalah sambaran petir yang langsung menuju fasa konduktor dari sistem tenaga. Hal ini disebabkan oleh kemungkinan (*probabilitas*) dari sambaran petir menuju fasa konduktor lebih besar.
2. Sambaran tidak langsung adalah peristiwa sambaran petir yang terjadi di dekat sistem tenaga. Sambaran tersebut dapat berupa sambaran petir dari awan ke tanah ataupun sambaran petir dari awan ke awan. Biasanya sambaran petir ini lebih berpengaruh pada saluran tegangan menengah dibandingkan saluran tegangan tinggi. Akibat adanya sambaran ini, akan timbul medan elektromagnetik yang dapat menginduksi tegangan pada saluran sistem tenaga.

### 2.11 *Leakage Current Monitoring (LCM)*

*Leakage Current Monitoring (LCM)* atau biasa dikenal dengan alat akur arus bocor pada *Lightning Arrester* merupakan alat uji yang digunakan untuk mengetahui besarnya arus bocor yang mengalir melalui *Lightning Arrester*. Pada tes ini memerlukan memerlukan alat bantu khusus, pengujian ini dilakukan setahun sekali dan pada saat pengujian *Lightning Arrester* dalam kondisi berfungsi atau



masih mempunyai aliran tegangan dan arus. Berikut ini menunjukkan alat uji arus bocor dapat dilihat pada gambar 2.20.



**Gambar 2. 20** *Leakage Current Monitoring*[3]

Tujuan pengukuran guna mengukur arus bocor yang berhubungan dengan kondisi varistor ZnO maka perlu melakukan analisa harmonisa. *Degradasi* kondisi ZnO menunjukkan harmonisa orde ketiga dan arus bocor memiliki harmonisa orde ketiga. Untuk mendapatkan nilai pengukuran arus bocor yang nyata, maka tegangan sistem yang mempengaruhi harmonisa perlu diperhitungkan. *Field probe* digunakan untuk kompensasi pada LCM.

Standar batasan nilai pada arus bocor *Lightning Arrester* berdasarkan tegangan Gardu Induk yang diberikan, di bawah ini menunjukkan batasan nilai arus bocor ditunjukkan pada tabel 2.1.

**Tabel 2. 1** Batasan nilai arus bocor

kV	I <sub>reff</sub> , Max (μA)
70 kV	100
150 kV	150
500 kV	250

Setelah mengetahui batasan nilai arus bocor pada *Lightning Arrester*, maka terdapat rekomendasi hasil ukur leakage current monitor pada tabel 2.2.

**Tabel 2. 2** Rekomendasi hasil pengukuran LCM[9]

% dari Iress, max	Rekomendasi
≤ 90	Melakukan pengukuran LCM tahunan
91- 99	Melakukan pengukuran LCM 6 bulan tahunan
≥ 100	Melakukan penggantian LA

Selain itu untuk mengetahui kondisi *Lightning Arrester* dalam keadaan baik atau tidaknya juga dapat diketahui dan dibuktikan dengan perhitungan presentase dengan menggunakan persamaan berikut:



$$\text{Presentase} = \frac{IR_{corr}}{IR_{reff}} \times 100\% \dots \dots \dots (2-2)$$




Keterangan :

IRcorr = Arus korektif

IRreff = Batasan arus bocor

**Tabel 2. 3** Leakage Current Monitor dan perlengkapannya

No	Komponen	Fungsi	Gambar
1	CT Clip-On	Digunakan untuk mengukur arus bocor total yang mengalir pada kawat penghantar LA	
2	Flid probe lengkap dengan antena	Mengukur arus brobe yang kemudian diolah untuk mendapatkan arus bocor kapasitif orde ke-3	

3	Current Probe (untuk LCM tipe lama)	Memiliki dua input yakni dari CT Clip-On dan Field probe, berisi komponen elektronis untuk mengukur arus bocor total dan arus medan listrik probe, selain itu juga terdapat rangkaian pengamanan tegangan lebih dan sensor suhu	
4	Alat ukur LCM terdiri atas CPU, Multiplexer, A/D Converter	Memproses hasil pengukuran dari CT dan field, guna mendapatkan arus resitif	
5	Software manajemen data	Proses analisis dan penyampaian data	

Hal-hal berikut ini harus mendapat perhatian selama proses pengukuran :

1. Untuk SAFETY : Lakukan pengukuran *thermovisi* sebelum dilaksanakan uji LCM. Bila ditemukan *hotspot* pada kompartemen LA, pengukuran LCM tidak boleh dilaksanakan.
2. *Grounding* alat uji harus baik. LCM harus terhubung *ground* dengan baik.
3. *CT clip-on* harus menutup sempurna saat pengukuran.
4. Seluruh koneksi pengukuran terhubung dengan baik, tidak longgar.
5. Pastikan setting LCM dengan benar:
  - a. *Mode* : untuk pengukuran di lapangan, gunakan mode 3 fasa.
  - b. *Temp* : setting suhu untuk pengukuran tidak kontinu, menggunakan setting manual, masukan estimasi suhu LA.

- c. *Line* : masukan tegangan operasional saat pengukuran. (tegangan kontinu-Uc).
  - d. *Average* : jumlah cacah perhitungan, standar *deviasi* (penunjuk error perhitungan), akan semakin kecil, bila nilai *average* semakin besar (rata-rata 10-20 kali cacah).
6. Posisi menaruh elektrik *probe* : 10 cm vertikal di bawah *insulator* dudukan LA dan 5 cm horizontal dari LA, tidak menyentuh piring *insulator* LA.
  7. Catatan pelaksanaan pengukuran :
    - a. Pengukuran dilaksanakan minimal 4 kali dengan posisi *probe* yang berbeda. (posisi depan-belakang-samping kiri dan samping kanan).
    - b. Hasil ukur arus bocor adalah nilai rata-rata dari keempat pengukuran.

### 2.12 Regresi Linear

Regresi linear adalah metode yang digunakan untuk mengembangkan model hubungan antara satu variabel *dependen* dan satu atau lebih variabel *independen*. Jika model hanya melibatkan satu variabel *independen*, maka disebut regresi linier sederhana. Namun, jika melibatkan beberapa variabel *independen*, metode ini dikenal sebagai regresi linier berganda[16].

Dalam regresi linier, variabel *dependen* sering disebut sebagai respons atau kriteria, sedangkan variabel *independen* juga dikenal sebagai prediktor atau regresor. Kovariat adalah variabel *independen* yang berkorelasi dengan prediktor lain dan juga memengaruhi respons. Biasanya, kovariat bukan fokus perhatian dalam hubungannya dengan respons sebaliknya, kovariat disertakan untuk mengendalikan hubungan *prediktor-respons* dalam model[16].

Dalam regresi linier, variabel respons selalu kontinu, sedangkan prediktor dapat berupa variabel kontinu, indikator, atau variabel kategoris yang telah diubah menjadi variabel indikator[16].

Analisis regresi linier merupakan metode statistik yang digunakan untuk menguji hubungan sebab akibat antara X dan Y. Oleh karena itu, pada penelitian ini dilakukan analisis regresi sederhana untuk menentukan arus *bocor Lightning Arrester* di Gardu Induk 150 kV Kebasen. Analisis regresi sederhana ditentukan oleh koefisien yang dapat dihitung dengan rumus persamaan berikut :

$$Y = a + bX \dots\dots\dots(2-3)$$

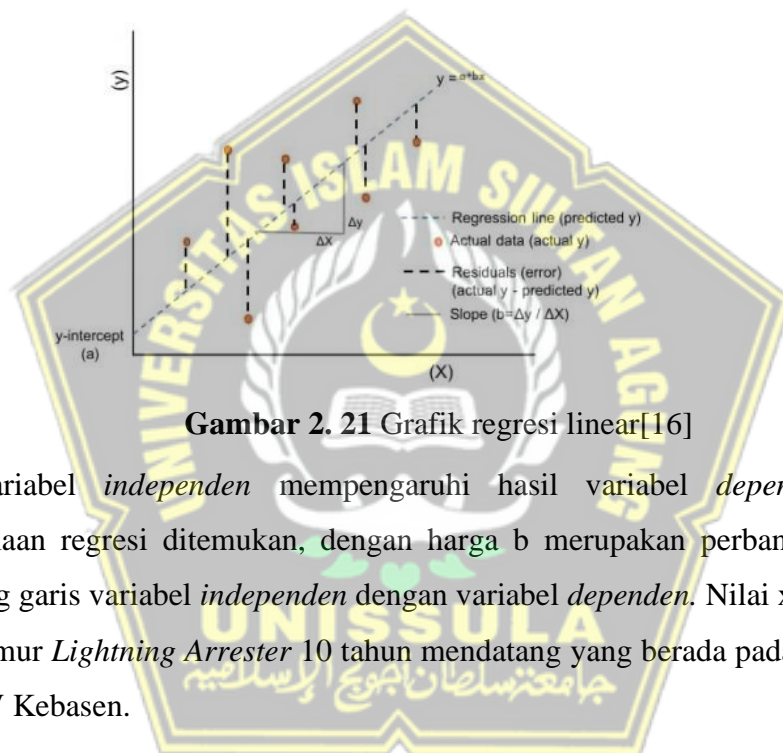
Yang mana :

Y = garis regresi/ variabel respon (arus bocor R, S, T)

a = konstanta (*intersep*), perpotongan sumbu vertikal

b = konstanta regresi (*slope*)

X = variabel bebas / prediktor (umur lightning arrester)



**Gambar 2. 21** Grafik regresi linear[16]

Variabel *independen* mempengaruhi hasil variabel *dependen*. Setelah persamaan regresi ditemukan, dengan harga b merupakan perbandingan antara panjang garis variabel *independen* dengan variabel *dependen*. Nilai x sama dengan nilai umur *Lightning Arrester* 10 tahun mendatang yang berada pada Gardu Induk 150 kV Kebasen.

$$a = \frac{(\sum Yi) (\sum X^2) (\sum YiXi)}{n \sum Xi^2 (\sum Xi)^2} \dots\dots\dots(2-4)$$

$$b = \frac{n \sum XiYi (\sum Xi) (\sum Yi)}{n \sum xi^2 - (\sum Xi)^2} \dots\dots\dots(2-5)$$

Dimana :

$\sum X$  = jumlah umur lightning arrester

$\sum Y$  = jumlah arus bocor (R, S, T)

n = banyaknya variabel X dan Y

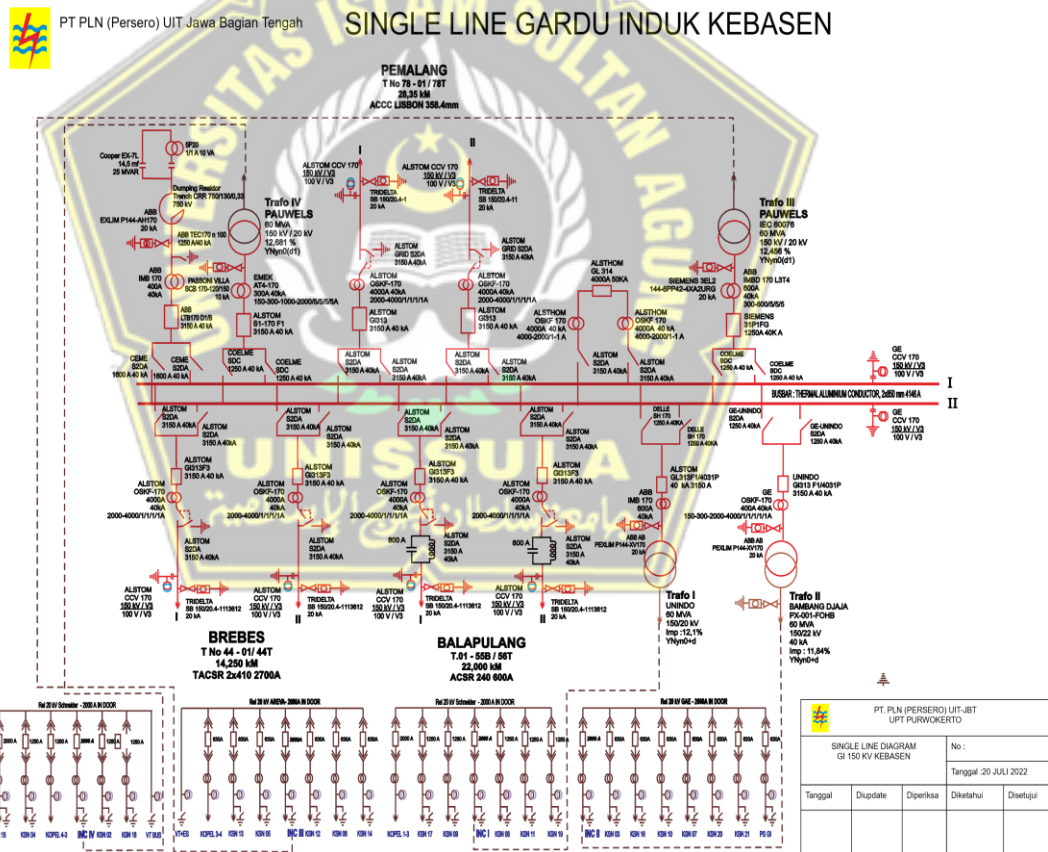


# BAB III

## METODOLOGI PENELITIAN

### 3.1 Model Penelitian

Penelitian ini dilakukan dengan cara studi dokumentasi, yaitu dengan mengumpulkan informasi dan mempelajari dokumen-dokumen untuk memperoleh informasi yang dibutuhkan untuk penelitian ini. Yaitu dengan cara berkoordinasi dengan pihak Gardu Induk 150 KV Kebasen untuk mendapatkan data yang diperlukan perhitungan sistematis dengan metode regresi linier. Kemudian hasil yang didapatkan akan di analisis apakah sudah sesuai dengan standar yang berlaku.



**Gambar 3. 1** Single line diagram Gardu Induk Kebasen



### 3.2 Alat dan Bahan

#### 3.2.1 Alat yang digunakan

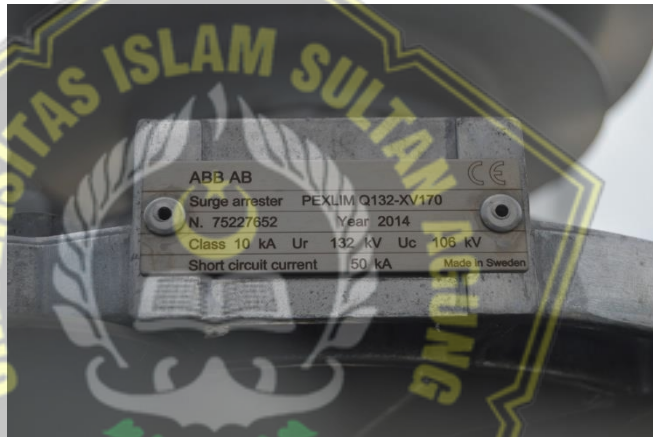
Untuk memudahkan perhitungan dalam penelitian ini menggunakan komputer sebagai alat perhitungan dengan spesifikasi sebagai berikut :

1. Laptop merek lenovo
2. Operasi sistem windows 10
3. Sedangkan untuk software menggunakan Microsoft excel 2021

#### 3.2.2 Data yang digunakan

Untuk data yang dibutuhkan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Data *name plate Lightning Arrester*



**Gambar 3. 2** *Name plate LA*


**Tabel 3. 1** *Name plate Lightning Arrester*

No	Item	Spesifikasi
1	Type	PEXLIM Q132-XV170
2	Tahun	2014
3	Buatan	Sweden
4	Merek	ABB AB
5	Class	20 Ka

*Lightning Arrester* (LA) di Gardu Induk Kebasen dilengkapi dengan spesifikasi yang sesuai dengan standar kinerja tinggi. Modelnya adalah PEXLIM Q132-XV170, yang dirancang untuk mengelola lonjakan tegangan dan arus listrik secara efisien. Diproduksi oleh ABB AB di Swedia pada tahun 2014, dan sekarang usianya sekitar 10 tahun *Lightning Arrester* (LA) ini berasal dari merek ternama yang dikenal akan kualitas dan keandalannya di sektor

kelistrikan. Diklasifikasikan dalam kategori 20 kA, *Lightning Arrester* (LA) ini dapat menahan arus lonjakan yang signifikan hingga 20 kiloampere, sehingga sangat efektif untuk menjaga sistem transmisi tegangan tinggi. Spesifikasi ini memastikan bahwa *Lightning Arrester* (LA) memberikan perlindungan yang andal dan kinerja yang optimal bahkan dalam kondisi operasional yang berat.

2. Data arus bocor *Lightning Arrester* Gardu Induk Kebasen 2022 – 2024

	PT. PLN (PERSERO)	(GI) IL 2-LCM LA : TAHUNAN	
---	-------------------	----------------------------	--

UNIT : UPT PURWOKERTO  
 GI / GITET : GI 150KV KEBASEN  
 PENGHANTAR : GI 150KV KEBASEN  
 NAMA BAY : TRF#1 150/20kV  
 PETUGAS : 9819577ZY Dwinta Andika - ULTG\_HARGI

FORMULIR : (GI) IL 2-LCM LA :  
 PERIODE : TAHUNAN  
 DURASI : 8.95 MENIT  
 TGL SINKRON : 01-FEB-24 16:27:04  
 TGL INSPEKSI : 01-JAN-24

LIGHTNING ARRESTER : ABB/PEXLIM Q132-XV170/R/75227652I-I-I-


NO	KOMPONEN	KONDISI	STATUS	CATATAN	PHOTO
1	ALAT UJI DAN TEGANGAN	Teg Saat Uji (kV) : 150			
		Merk : DOBLE			
		Tipe : LCM 500			
2	LCM (Minor)	BATASAN : 1000			
		I Corr (uA) : 54			
		I Res (uA) : 53			
		I Total (uA) : 626			

LIGHTNING ARRESTER : ABB/PEXLIM Q132-XV170/S/75227651I-I-I-

NO	KOMPONEN	KONDISI	STATUS	CATATAN	PHOTO
1	LCM (Minor)	BATASAN : 1000			
		I Corr (uA) : 41			
		I Res (uA) : 41			
		I Total (uA) : 630			

LIGHTNING ARRESTER : ABB/PEXLIM Q132-XV170/T/75227650I-I-I-

NO	KOMPONEN	KONDISI	STATUS	CATATAN	PHOTO
1	LCM (Minor)	BATASAN : 1000			
		I Corr (uA) : 49			
		I Res (uA) : 48			
		I Total (uA) : 661			

Approval	Pelaksana
(.....)	 (Dwinta Andika)

SOURCE : TRS-3515-274.274-B0017659d1cd4c08e5WEB

**Gambar 3. 3** Data arus bocor *Lightning Arrester*

**Tabel 3. 2** Data arus bocor 2022-2024

No	Bay	Tahun	Fasa	Arus bocor (uA)
1	Trafo 1	2022	R	32
2			S	21
3			T	29
4	Trafo 1	2023	R	42
5			S	34
6			T	31
7	Trafo 1	2024	R	54
8			S	41
9			T	49

### 3.3 Tahap Penelitian

1. Menentukan tempat penelitian
2. Menentukan data yang akan dibutuhkan
3. Mengumpulkan data-data penelitian yang dibutuhkan
4. Data-data penelitian yang dibutuhkan yaitu data spesifikasi *Lightning Arrester*, tahun pembuatan *Lightning Arrester*, dan data arus bocor *Lightning Arrester*
5. Menghitung presentase data arus bocor 2024
6. Menentukan peramalan arus bocor menggunakan regresi linear untuk 10 tahun kedepan
7. Menghitung konstanta a
8. Menghitung konstanta b
9. Menentukan hasil regresi linear apakah sesuai atau tidak
10. Menentukan kondisi *Lightning Arrester* dengan perhitungan presentase
11. Membuat analisis kelayakan kinerja *Lightning Arrester* melalui data arus bocor yang diperoleh dengan keputusan kelayakan standar PLN
12. Membuat kesimpulan dan saran

### 3.4 Parameter Penelitian

Parameter penelitian adalah variabel atau faktor yang digunakan untuk mengukur atau menggambarkan suatu fenomena dalam sebuah penelitian. Parameter ini memberikan batasan yang jelas tentang apa yang akan diukur, dianalisis dan dijelaskan, sehingga hasil penelitian menjadi lebih terfokus dan spesifik.

Dalam penelitian, parameter dapat berupa variabel kuantitatif (seperti jumlah, ukuran, atau intensitas) atau variabel kualitatif (seperti kategori atau kualitas tertentu). Parameter ini membantu peneliti untuk :

- Mengumpulkan data yang relevan.
- Melakukan analisis secara sistematis dan tepat.
- Menarik kesimpulan berbasis data dari hasil penelitian.

Parameter penelitian ini yang akan diteliti adalah sebagai berikut :

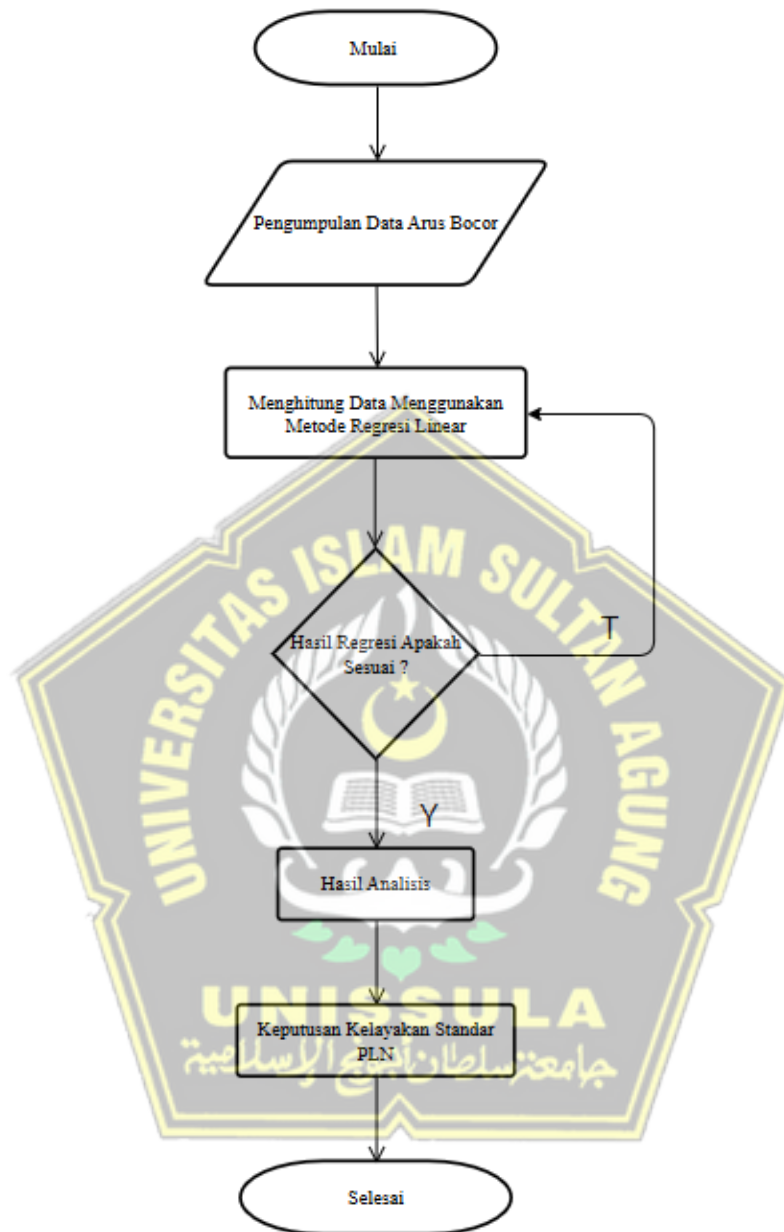
1. Arus bocor sebagai variabel *independen* (Y), didapatkan dari pengukuran menggunakan LCM untuk mengetahui kinerja *Lightning Arrester* di Gardu Induk Kebasen dengan melakukan analisis data sesuai dengan standar SPLN T5.007.2014.
2. Usia *Lightning Arrester* sebagai variabel *dependen* (X), digunakan untuk mengetahui kinerja *Lightning Arrester* yang usianya 10 tahun dengan melakukan analisis data sesuai standar SPLN T5.007.2014.

Dimana :

- Y = Arus Bocor (R, S, T)  
 X = Umur LA  
 a = konstanta (*intersep*), perpotongan sumbu vertikal  
 b = konstanta regresi (*slope*)

variabel *independen* mempengaruhi hasil variabel *dependen*. Jika b positif maka naik dan jika b negatif maka turun, x = nilai tertentu dari subyek variabel *independen*.

### 3.5 Flowchart Penelitian



**Gambar 3. 4** Flowchart Penelitian

Berikut penjabaran tahapan penelitian yang dilalui:

#### **Tahap I**

Mengumpulkan data yang relevan sesuai dengan judul dan rumusan masalah yang telah ditentukan. Data tersebut meliputi diagram satu garis Gardu Induk 150 kV Kebasen, data pengukuran arus bocor *Lightning Arrester*, serta data *nameplate Lightning Arrester*.



### **Tahap II**

Setelah data arus bocor terkumpul, dilakukan analisis menggunakan metode regresi linear untuk memproyeksikan arus bocor *Lightning Arrester* selama 10 tahun ke depan.

### **Tahap III**

Melakukan verifikasi terhadap hasil perhitungan regresi linear. Jika hasil perhitungan tidak valid atau kurang sesuai, dilakukan perhitungan ulang dengan metode yang sama. Jika hasilnya valid, proses dilanjutkan ke tahap berikutnya.

### **Tahap IV**

Menganalisis hasil pengukuran berdasarkan metode regresi linear yang telah divalidasi. Dari analisis ini, dilakukan interpretasi untuk menilai kondisi kinerja *Lightning Arrester* saat ini serta prediksinya untuk 10 tahun mendatang.

### **Tahap V**

Berdasarkan hasil analisis, dibuat keputusan terkait kelayakan arus bocor, yaitu apakah kinerja *Lightning Arrester* masih sesuai dengan standar SPLN T5.007.2014. Keputusan ini menentukan apakah *Lightning Arrester* perlu diganti atau masih dapat digunakan.

### **Tahap VI**

Menarik kesimpulan dari hasil analisis dan perhitungan. Kesimpulan ini dibuat berdasarkan hasil akhir dan disesuaikan dengan tujuan serta rumusan masalah yang telah ditetapkan pada judul penelitian.

## **3.6 Lokasi dan Objek Penelitian**

### 1. Lokasi Penelitian

Penelitian ini dilakukan pada lokasi di Gardu Induk 150 KV Kebasen yang terletak di Jl Raya Slawi II, Kebasen, Desa Talang, Tegal.

### 2. Objek Penelitian

Pada penelitian ini objek yang diteliti yaitu *Lightning Arrester* pada Gardu Induk 150 KV Kebasen.

## BAB IV

### HASIL DAN PEMBAHASAN

#### 4.1 Perhitungan Presentase Arus Bocor

Pada penelitian ini menggunakan data arus bocor *Lightning Arrester Bay* Transformator I, adapun data arus bocor yang didapatkan untuk penelitian ini yaitu data arus bocor. Pada data arus bocor *Lightning Arrester Bay* Transformator I ini diperoleh dari tahun 2022 sampai 2024. Adapun data arus bocor dapat dilihat pada tabel 4.1.

**Tabel 4.1** Data arus bocor 2022 sampai 2024

No	Bay Penghantar	Tahun	Arus Bocor ( $\mu\text{A}$ )		
			R	S	T
1	Trafo I	2022	32	21	29
2	Trafo I	2023	42	34	31
3	Trafo I	2024	54	41	49

Berikut ini adalah perhitungan untuk arus bocor *Lightning Arrester* dari tabel 4.1 yaitu untuk mengetahui kondisi baik atau tidaknya arus bocor yang dihasilkan juga dapat diketahui dan dibuktikan dengan presentase dengan menggunakan persamaan (2-2).

#### 1. Bay penghantar Trafo 1

##### ➤ Presentase fasa R

$$= \frac{IR_{corr}}{IR_{ref}} \times 100\%$$

$$= \frac{54}{150} \times 100\%$$

$$= 36\%$$

##### ➤ Presentase fasa S

$$= \frac{IR_{corr}}{IR_{ref}} \times 100\%$$

$$= \frac{41}{150} \times 100\%$$

$$= 27\%$$

➤ Presentase fasa T

$$= \frac{IR_{corr}}{IR_{reff}} \times 100\%$$

$$= \frac{49}{150} \times 100\%$$

$$= 32\%$$

**Tabel 4. 2** Hasil presentase arus bocor pada tahun 2024

No	Bay Penghantar	Standar	Tahun	Arus Bocor		
				R	S	T
1	Trafo 1	SPLN T5.007.2014.	2024	36%	27%	32%

Berdasarkan tabel 4.2 menyajikan analisis arus bocor untuk *Lightning Arrester Bay* pada Transformer 1 untuk tahun 2024, menurut standar SPLN T5.007.2014. Tabel di bawah ini merinci pengukuran arus bocor untuk setiap fasa. Data menunjukkan bahwa arus bocor untuk fase R adalah 36%, untuk fasa S adalah 27%, dan untuk fasa T adalah 32%. Semua pengukuran ini secara signifikan di bawah batas maksimum yang diizinkan sebesar  $\leq 90\%$  seperti yang tertera pada tabel 2.2. Ini menunjukkan bahwa sistem konduktor pada Transformer I berfungsi dengan baik dan mematuhi standar operasional yang relevan. Berdasarkan data saat ini, tidak ada indikasi bahwa penggantian atau perbaikan diperlukan. Oleh karena itu, dapat disimpulkan bahwa kinerja arus bocor Transformer I berada dalam kisaran aman dan tidak memerlukan tindakan segera.

#### **4.2 Menentukan Peramalan Arus Bocor *Lightning Arrester Bay* Transformator I Menggunakan Metode Regresi Linear**

Bab ini membahas analisis dan pembahasan terkait penelitian yang telah dilakukan. Bagian ini menyajikan berbagai tahapan peramalan arus bocor *Lightning Arrester* di Gardu Induk 150 kV Kebasen. Metode regresi linear diterapkan dalam penelitian ini untuk meramalkan arus bocor *Lightning Arrester Bay* Transformer I

selama 10 tahun ke depan. Tujuannya adalah untuk mengetahui apakah *Lightning Arrester* akan tetap berfungsi efektif dan berkinerja dengan baik selama dekade berikutnya. Untuk itu, analisis dilakukan berdasarkan data arus bocor *Lightning Arrester Bay* Transformator I yang tercatat dari tahun 2022 hingga 2024.

#### 4.2.1 Menentukan peramalan arus bocor *lightning arrester bay* transformator I fasa R

Berdasarkan data arus bocor dari 2022 sampai 2024 dan umur *Lightning Arrester* berusia 10 tahun yang digunakan sebagai peramalan arus bocor pada *Lightning arrester bay* transformator I fasa R yang ada pada Gardu Induk 150 kV Kebasen. Untuk mempermudah perhitungan data menggunakan metode regresi linear maka akan dibuatkan tabel perhitungan konstanta regresi linear seperti tabel 4.3 di bawah ini :

**Tabel 4. 3** Perhitungan dengan metode regresi linear

No	LA (Tahun) (X)	Arus bocor ( $\mu$ A) (Y)	$X^2$	XY
1	1	32	1	32
2	2	42	4	84
3	3	54	9	162
$\Sigma$	6	128	14	278

##### 1. Menghitung konstanta a

$$a = \frac{(\Sigma Y)(\Sigma X^2) - (\Sigma X)(\Sigma XY)}{(n)(\Sigma X^2) - (\Sigma X)^2}$$

$$a = \frac{(128)(14) - (6)(278)}{(3)(14) - (6)^2}$$

$$a = \frac{1792 - 1668}{42 - 36}$$

$$a = \frac{124}{6}$$

$$a = 20$$

2. Menghitung konstanta b

$$b = \frac{(n)(\sum XY) - (\sum X)(\sum Y)}{(n)(\sum X^2) - (\sum X)^2}$$

$$b = \frac{(3)(278) - (26)(128)}{(3)(14) - (6)^2}$$

$$b = \frac{834 - 768}{42 - 36}$$

$$b = \frac{66}{6}$$

$$b = 11$$

Maka setelah mengetahui nilai dari konstanta nilai a dan b didapatkan persamaan regresi linear adalah :

$$Y = 20 + 11X$$

Maka dengan nilai persamaan, tersebut kita dapat menghitung nilai peramalan arus bocor pada transformator I fasa R yang ada pada Gardu Induk 150 kV Kebasen untuk 10 tahun mendatang dari tahun 2025 sampai 2034 mendatang.

Maka perhitungan sebagai berikut :

$$Y = a + bX$$

$$Y_{2025} = 20 + 11(4)$$

$$Y_{2025} = 20 + 44$$

$$Y_{2025} = 64$$

Maka arus bocor *lightning arrester bay* transformator pada tahun 2025 sebesar 64  $\mu$ A. Untuk yang lain dapat dihitung sesuai tabel 4.4 di bawah ini :



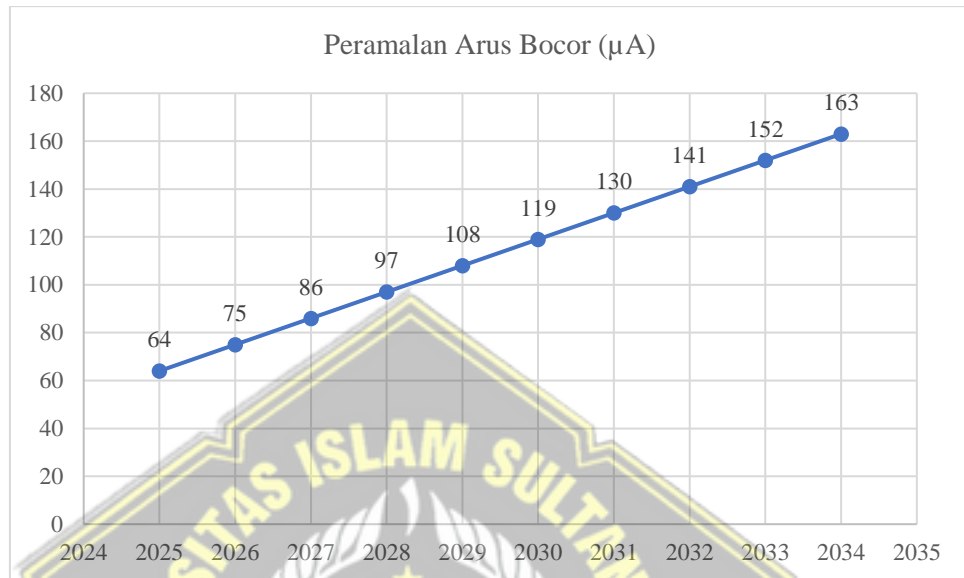
**Tabel 4. 4** Peramalan arus bocor *lightning arrester* 10 tahun kedepan dengan metode regresi linear

No	Tahun	LA (Tahun) (X)	Peramalan Arus Bocor ( $\mu$ A) $Y = a + b X$
1	2025	4	64
2	2026	5	75
3	2027	6	86
4	2028	7	97
5	2029	8	108
6	2030	9	119
7	2031	10	130
8	2032	11	141
9	2033	12	152
10	2034	13	163

Berdasarkan Tabel 4.4 yang merinci perkiraan arus bocor *Lightning Arrester Bay* transformator I menggunakan metode regresi linear untuk 10 tahun ke depan, terlihat bahwa arus bocor meningkat seiring bertambahnya usia *Lightning Arrester*. Pada tahun 2025 perhitungan arus bocor *Lightning Arrester* mencapai 64  $\mu$ A dan pada tahun 2034 perhitungan arus bocor *Lightning arrester* mencapai prediksi 163  $\mu$ A.

Peningkatan arus bocor mencerminkan penurunan kinerja *Lightning arrester* seiring bertambahnya usia. Tren ini menyoroti pentingnya perencanaan untuk pemeliharaan dan penggantian *Lightning Arrester* di masa mendatang guna memastikan kinerja dengan baik dan tetap efektif. Perkiraan ini memberikan wawasan berharga untuk mengembangkan strategi pemeliharaan yang bertujuan mencegah penurunan kinerja, yang dapat membahayakan keselamatan dan keandalan sistem. Untuk grafik peramalan arus bocor *Lightning Arrester Bay*

transformator I dengan menggunakan metode regresi linear dapat dilihat pada gambar 4.1 di bawah ini :



**Gambar 4. 1** Grafik peramalan arus bocor lightning arrester bay transformator I fasa R dengan metode regresi linear

#### 4.2.2 Menentukan presentase arus bocor lightning arrester bay transformator 1 fasa R

Setelah perhitungan data dengan menggunakan regresi linear untuk 10 tahun mendatang dan sudah diperoleh hasil perhitungannya berdasarkan tabel 4.4 maka dapat ditentukan presentase arus bocor dari data tersebut dengan rumus sesuai dengan persamaan 2-2 pada tabel 4.5 di bawah ini :

**Tabel 4. 5** Presentase arus bocor *lightning arrester bay* transformator I fasa R

No	Tahun	Standar SPLN (µA)	Data Arus Bocor yang diperoleh (µA)	Presentase fasa R (%)
1	2025	150	64	42%
2	2026		75	50%
3	2027		86	57%

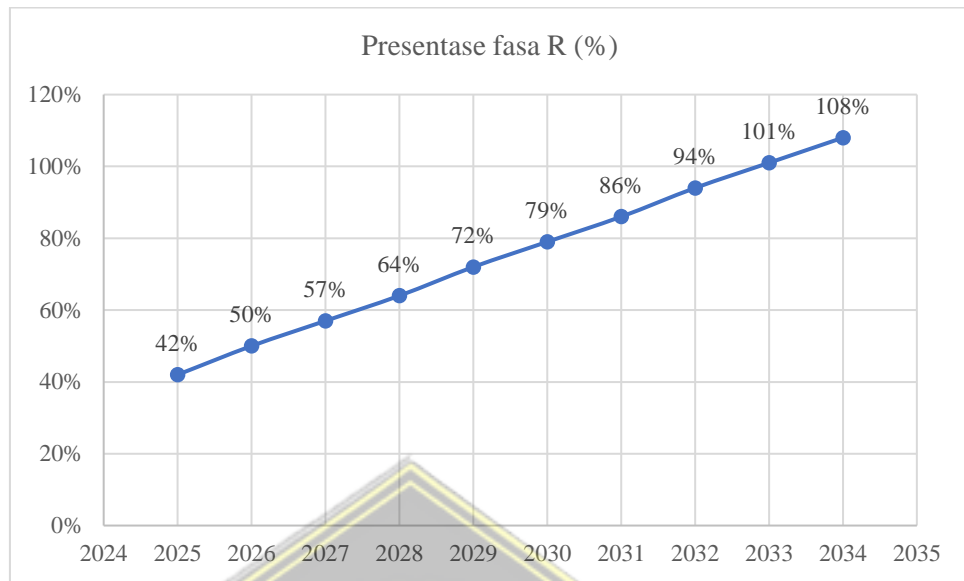
No	Tahun	Standar SPLN ( $\mu\text{A}$ )	Data Arus Bocor yang diperoleh ( $\mu\text{A}$ )	Presentase fasa R (%)
4	2028		97	64%
5	2029		109	72%
6	2030		119	79%
7	2031		130	86%
8	2032		141	94%
9	2033		152	101%
10	2034		163	108%

$$\text{Presentase} = \frac{\text{Arus bocor}}{\text{Batasan arus bocor}} \times 100\%$$

$$\text{Presentase} = \frac{64}{150} \times 100\%$$

$$\text{Presentase} = 43\%$$

Berdasarkan tabel 4.5, terlihat bahwa arus bocor pada fasa R dari tahun 2025 hingga 2034 mengalami peningkatan. Pada tahun 2025, arus bocor tercatat sebesar 64  $\mu\text{A}$  dengan nilai presentase sebesar 42% dari standar SPLN. Tren peningkatan ini berlanjut hingga tahun 2034, di mana arus bocor tercatat sebesar 163  $\mu\text{A}$  atau 108%. Nilai arus bocor selama periode tersebut sudah melebihi batas maksimum  $\leq 90\%$ , peningkatan yang konsisten ini menunjukkan penurunan kualitas isolasi yang perlu mendapat perhatian. Jika tren ini berlanjut tanpa tindakan pencegahan atau pemeliharaan, arus bocor mungkin mendekati batas kritis dalam beberapa tahun ke depan. Untuk grafik presentase arus bocor *Lightning Arrester Bay Transformator I* fasa R dengan menggunakan metode regresi linear dapat dilihat pada gambar 4.2 dibawah ini :



**Gambar 4.2** Grafik presentase arus bocor lightning arrester bay transformator I fasa R

#### 4.2.3 Menentukan peramalan arus bocor lightning arrester bay transformator I fasa S

Berdasarkan data arus bocor dari 2022 sampai 2024 dan umur *Lightning Arrester* berusia 10 tahun yang digunakan sebagai peramalan arus bocor pada *Lightning arrester bay* transformator I fasa S yang ada pada Gardu Induk 150 kV Kebasen. Untuk mempermudah perhitungan data menggunakan metode regresi linear maka akan dibuatkan tabel perhitungan konstanta regresi linear seperti tabel 4.6 di bawah ini :

**Tabel 4. 6** Perhitungan dengan metode regresi linear

No	LA (Tahun) (X)	Arus Bocor ( $\mu$ A) (Y)	$X^2$	XY
1	1	21	1	21
2	2	34	4	68
3	3	41	9	123
$\Sigma$	6	96	14	212

1. Menghitung konstanta a

$$a = \frac{(\sum Y)(\sum X^2) - (\sum X)(\sum XY)}{(n)(\sum X^2) - (\sum X)^2}$$

$$a = \frac{(96)(14) - (6)(212)}{(3)(14) - (6)^2}$$

$$a = \frac{1344 - 1272}{42 - 36}$$

$$a = \frac{72}{6}$$

$$a = 12$$

2. Menghitung konstanta b

$$b = \frac{(n)(\sum XY) - (\sum X)(\sum Y)}{(n)(\sum X^2) - (\sum X)^2}$$

$$b = \frac{(3)(212) - (6)(96)}{(3)(14) - (6)^2}$$

$$b = \frac{636 - 576}{42 - 36}$$

$$b = \frac{60}{6}$$

$$b = 10$$

Maka setelah mengetahui nilai dari konstanta nilai a dan b didapatkan persamaan regresi linear sebagai berikut :



$$Y = a + bX$$

$$Y = 12 + 10X$$

Maka dengan nilai persamaan, tersebut kita dapat menghitung nilai peramalan arus bocor pada transformator I fasa S yang ada pada Gardu Induk 150 kV Kebasen untuk 10 tahun mendatang dari tahun 2025 sampai 2034 mendatang.

Maka perhitungannya sebagai berikut :

$$Y_{2025} = a + bX$$

$$Y_{2025} = 12 + 10(4)$$

$$Y_{2025} = 12 + 40$$

$$Y_{2025} = 52$$

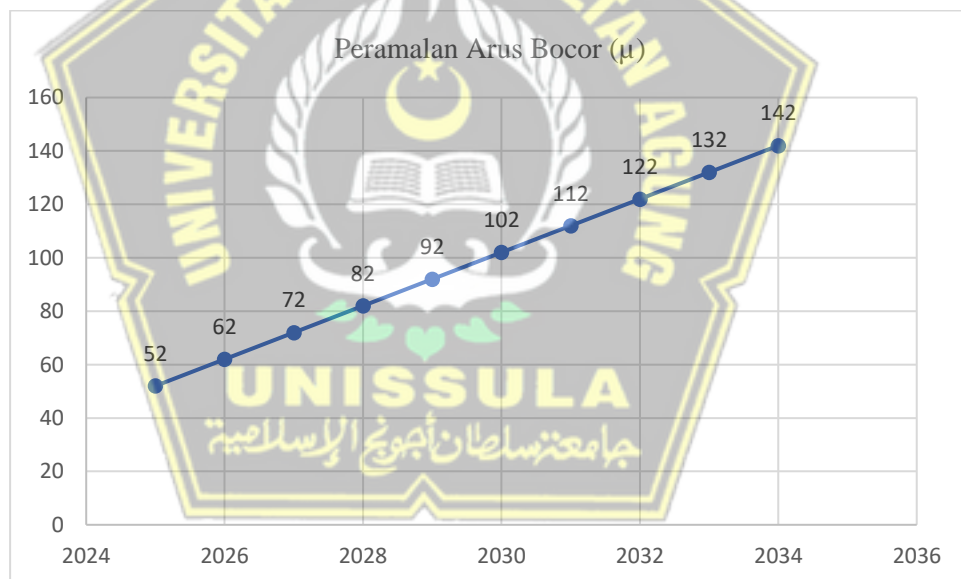
Maka didapatkan arus bocor *lightning arrester bay* transformator I fasa S pada tahun 2025 sebesar 52  $\mu\text{A}$ . Untuk yang lain dapat dihitung pada tabel 4.7 dibawah ini :

**Tabel 4. 7** Peramalan arus bocor *lightning arrester bay* transformator I fasa S

No	Tahun	LA (Tahun) (X)	Peramalan Arus Bocor ( $\mu\text{A}$ ) $Y = a + bX$
1	2025	4	52
2	2026	5	62
3	2027	6	72
4	2028	7	82
5	2029	8	92
6	2030	9	102
7	2031	10	112
8	2032	11	122
9	2033	12	132
10	2034	13	142

Berdasarkan tabel 4.7, peramalan arus bocor pada *lightning arrester bay* transformator 1 fasa S menggunakan metode regresi linear menunjukkan adanya peningkatan signifikan dalam 10 tahun mendatang. Pada tahun 2025 arus bocor diperkirakan sebesar 52  $\mu$ A.

Tren peningkatan ini terus berlanjut hingga tahun 2034, saat usia *Lightning Arrester* mencapai 10 tahun dengan estimasi arus bocor sebesar 142  $\mu$ A. Hasil prediksi ini menunjukkan bahwa seiring bertambahnya usia perangkat, arus bocor cenderung meningkat, sehingga diperlukan evaluasi dan pemeliharaan berkala untuk menjaga kinerja dan keandalan sistem. Untuk grafik peramalan arus bocor *Lightning Arrester Bay* Transformator I fasa S dengan menggunakan metode regresi linear dapat dilihat pada gambar 4.3 di bawah ini :



**Gambar 4.3** Grafik peramalan arus bocor lightning arrester bay transformator I fasa S dengan metode regresi linear

#### 4.2.4 Menentukan presentase arus bocor lightning arrester bay transformator I fasa S

Setelah perhitungan data dengan menggunakan regresi linear untuk 10 tahun mendatang dan sudah diperoleh hasil perhitungannya berdasarkan tabel 4.7 maka

dapat ditentukan presentase arus bocor dari data tersebut dengan rumus sesuai dengan persamaan 2-2 pada tabel 4.8 di bawah ini :

**Tabel 4. 8** Peresentase arus bocor lightning arrester bay transformator I fasa S

No	Tahun	Standar SPLN ( $\mu$ A)	Data Arus Bocor yang diperoleh ( $\mu$ A)	Presentase fasa S (%)
1	2025	150	52	34%
2	2026		62	41%
3	2027		72	48%
4	2028		82	54%
5	2029		92	61%
6	2030		102	68%
7	2031		112	74%
8	2032		122	81%
9	2033		132	88%
10	2034		142	94%

$$\text{Presentase} = \frac{\text{Arus bocor}}{\text{Batasan arus bocor}} \times 100\%$$

$$\text{Presentase} = \frac{52}{150} \times 100\%$$

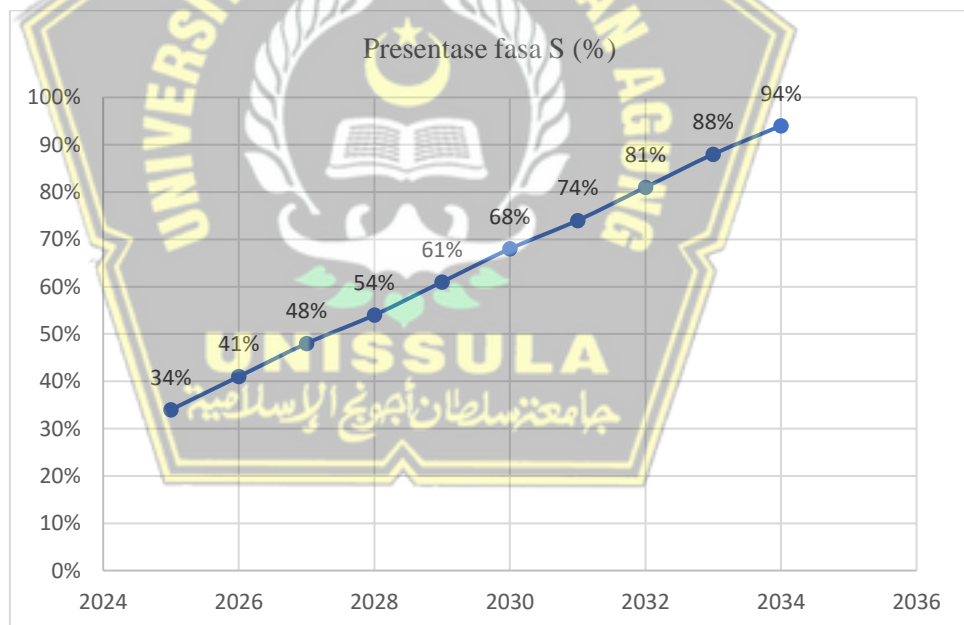
$$\text{Presentase} = 34\%$$

Berdasarkan tabel 4.8, persentase arus bocor pada *Lightning Arrester Bay* transformator I fasa S pada tahun 2025 tercatat sebesar 34%. Dengan standar SPLN sebesar 150  $\mu$ A, arus bocor aktual yang didapatkan adalah 52  $\mu$ A. Persentase ini masih berada dalam batas aman dan menunjukkan bahwa meskipun ada arus bocor,

kondisinya masih terkendali. Namun angka ini juga menjadi awal dari tren peningkatan arus bocor yang terus berlanjut seiring bertambahnya usia peralatan.

Pada tahun 2034, persentase arus bocor meningkat secara signifikan hingga mencapai 94%, dengan arus bocor aktual sebesar 142  $\mu$ A. Peningkatan ini melebihi batas maksimum yang ditetapkan oleh SPLN yaitu  $\leq 90\%$ , yang menunjukkan penurunan kualitas isolasi yang membutuhkan perhatian serius. Angka ini mengilustrasikan bahwa kondisi isolasi terus menurun seiring waktu, yang dapat mempengaruhi kinerja keseluruhan *Lightning Arrester*.

Oleh karena itu, langkah pemeliharaan yang lebih intensif diperlukan untuk menjaga keandalan sistem dan mencegah potensi kegagalan di masa depan. Untuk grafik presentase arus bocor *Lightning Arrester Bay* Transformator I fasa S dengan menggunakan metode regresi linear dapat dilihat pada gambar 4.4 di bawah ini :



**Gambar 4.4** Grafik presentase arus bocor lightning arrester bay transformator I fasa S

#### 4.2.5 Menentukan peramalan arus bocor lightning arrester bay transformator I fasa T

Berdasarkan data arus bocor dari 2022 sampai 2024 dan umur Lightning Arrester berusia 10 tahun yang digunakan sebagai peramalan arus bocor pada *Lightning Arrester Bay* Transformator I fasa T yang ada pada Gardu Induk 150 kV Kebasen. Untuk mempermudah perhitungan data menggunakan metode regresi linear maka akan dibuatkan tabel perhitungan konstanta regresi linear seperti tabel 4.9 dibawah ini :

**Tabel 4. 9** Perhitungan dengan metode regresi linear

No	LA (Tahun) (X)	Arus Bocor ( $\mu$ A) (Y)	$X^2$	XY
1	1	29	1	29
2	2	31	4	62
3	3	49	9	147
$\Sigma$	6	109	14	238

1. Menghitung konstanta a

$$a = \frac{(\Sigma Y)(\Sigma X^2) - (\Sigma X)(\Sigma XY)}{(n)(\Sigma X^2) - (\Sigma X)^2}$$

$$a = \frac{(109)(14) - (6)(238)}{(3)(14) - (6)^2}$$

$$a = \frac{1526 - 1428}{42 - 36}$$

$$a = \frac{98}{6}$$

$$a = 16$$



2. Menghitung konstanta b

$$b = \frac{(n)(\sum XY) - (\sum X)(\sum Y)}{(n)(\sum X^2) - (\sum X)^2}$$

$$b = \frac{(3)(238) - (6)(109)}{(3)(14) - (6)^2}$$

$$b = \frac{714 - 654}{42 - 36}$$

$$b = \frac{66}{6}$$

$$b = 10$$

Maka setelah mengetahui nilai dari konstanta nilai a dan b didapatkan persamaan regresi linear sebagai berikut :

$$Y = a + bX$$

$$Y = 16 + 10X$$

Maka dengan nilai persamaan tersebut, kita dapat menghitung nilai peramalan arus bocor lightning arrester bay transformator I fasa T yang ada pada Gardu Induk 150 kV Kebasen untuk 10 tahun mendatang dari tahun 2025 sampai 2034 mendatang.

Maka perhitungannya sebagai berikut :

$$Y_{2025} = a + bX$$

$$Y_{2025} = 16 + 10(4)$$

$$Y_{2025} = 16 + 40$$

$$Y_{2025} = 56$$

Maka didapatkan arus bocor *Lightning Arrester Bay* transformator I fasa T pada tahun 2025 sebesar 56  $\mu$ A. untuk yang lain dapat dihitung pada tabel 4.10 di bawah ini :

**Tabel 4. 10** Peramalan arus bocor *lightning arrester bay* transformator I fasa T

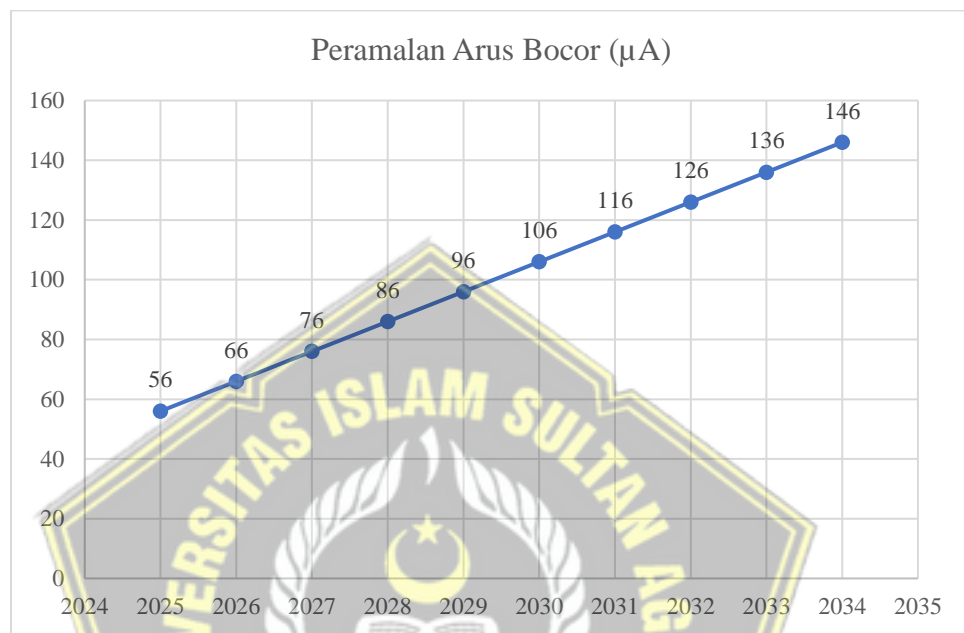
No	Tahun	LA (Tahun) (X)	Peramalan Arus Bocor ( $\mu\text{A}$ ) $Y = a + bX$
1	2025	4	56
2	2026	5	66
3	2027	6	76
4	2028	7	86
5	2029	8	96
6	2030	9	106
7	2031	10	116
8	2032	11	126
9	2033	12	136
10	2034	13	146

Berdasarkan Tabel 4.10, peramalan arus bocor *Lightning Arrester (LA) Bay* transformator I fasa T tercatat sebesar 56  $\mu\text{A}$  pada tahun 2025. Meskipun terjadi peningkatan arus bocor dibandingkan tahun-tahun sebelumnya, nilai ini masih berada dalam batas aman dan menunjukkan bahwa *Lightning Arrester* masih berfungsi dengan baik dalam melindungi peralatan dari lonjakan tegangan.

Pada tahun 2034, saat perhitungan arus bocor *Lightning Arrester* mencapai 146  $\mu\text{A}$ . Arus bocor ini melebihi ambang batas kritis, sehingga *Lightning Arrester* pada tahun ini tidak dapat berfungsi secara optimal dalam menangani gangguan tegangan akibat sambaran petir dan surja hubung.

Secara keseluruhan, meskipun arus bocor meningkat seiring bertambahnya usia *Lightning Arrester*, kinerja *Lightning Arrester* pada tahun 2034 di Gardu Induk bay Transformator I fasa T tidak dalam kondisi baik atau tidak dapat beroperasi. Pemantauan berkala tetap diperlukan untuk memastikan *Lightning Arrester* terus

beroperasi sesuai standar keselamatan dan kinerja. Untuk grafik peramalan arus bocor *Lightning Arrester Bay* Transformator I fasa T dengan menggunakan metode regresi linear dapat dilihat pada gambar 4.5 di bawah ini :



**Gambar 4. 5** Grafik peramalan arus bocor lightning arrester bay transformator I fasa T dengan metode regresi linear

#### 4.2.6 Menentukan presentase arus bocor lightning arrester bay transformator I fasa T

Setelah perhitungan data dengan menggunakan regresi linear untuk 10 tahun mendatang dan sudah diperoleh hasil perhitungannya berdasarkan tabel 4.10 maka dapat ditentukan presentase arus bocor dari data tersebut dengan rumus sesuai dengan persamaan (2-2) pada tabel 4.11 di bawah ini :

**Tabel 4. 11** Presentase arus bocor *lightning arrester bay* transformator I fasa T

No	Tahun	Standar SPLN ( $\mu\text{A}$ )	Data Arus Bocor yang diperoleh ( $\mu\text{A}$ )	Presentase fasa T (%)
1	2025	150	56	37%
2	2026		66	44%
3	2027		76	50%
4	2028		86	57%
5	2029		96	64%
6	2030		106	70%
7	2031		116	77%
8	2032		126	84%
9	2033		136	90%
10	2034		146	97%

$$\text{Presentase} = \frac{\text{Arus Bocor}}{\text{Batasan arus bocor}} \times 100\%$$

$$\text{Presentase} = \frac{56}{150} \times 100\%$$

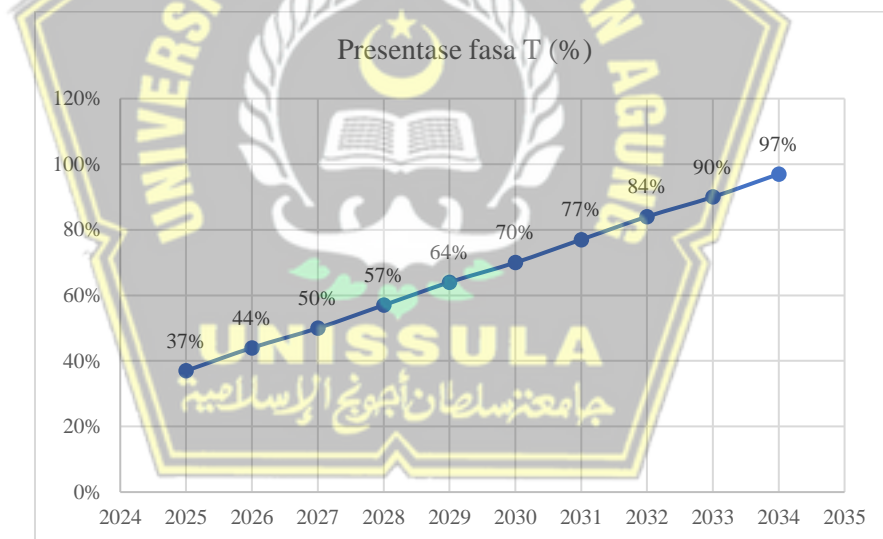
$$\text{Presentase} = 37\%$$

Berdasarkan Tabel 4.11, persentase arus bocor pada *Lightning Arrester* (LA) di bay transformator I fasa T menunjukkan bahwa pada tahun 2025, arus bocor yang terukur adalah 56  $\mu\text{A}$ , atau 37% dari standar SPLN yang ditetapkan sebesar  $\leq 90\%$ . Nilai ini masih berada dalam batas aman, menandakan bahwa kinerja *Lightning Arrester* pada tahun tersebut masih cukup baik.

Namun, terjadi peningkatan signifikan pada arus bocor *Lightning Arrester*. Pada tahun 2034, arus bocor tercatat sebesar 146  $\mu\text{A}$ , atau setara dengan 97% dari standar SPLN yaitu  $\leq 90\%$ . Peningkatan ini menunjukkan adanya penurunan

kinerja *Lightning Arrester* secara bertahap selama 10 tahun terakhir. Arus bocor yang melebihi batas standar dapat mengindikasikan bahwa *Lightning Arrester* mendekati akhir masa pakainya dan mungkin perlu diganti atau mendapat perawatan lebih lanjut.

Perbandingan antara tahun 2025 dan 2034 menunjukkan bahwa dalam periode 10 tahun, terdapat peningkatan arus bocor sebesar dari 37% menjadi 97%. Tren ini menekankan pentingnya pemantauan rutin terhadap kinerja *Lightning Arrester* agar tindakan pencegahan dapat dilakukan sebelum arus bocor mencapai atau melebihi ambang batas yang ditetapkan, yang dapat mempengaruhi kinerja perlindungan sistem tenaga. Untuk grafik presentase arus bocor *Lightning Arrester Bay Transformator I fasa T* dengan menggunakan metode regresi linear dapat dilihat pada gambar 4.6 di bawah ini :



**Gambar 4. 6** Grafik presentase arus bocor lightning arrester bay transformator I fasa T

### 4.3 Menentukan Kelayakan Kinerja Lightning Arrester Dengan Keputusan Kelayakan Standar PLN

Pada bagian ini membahas analisis dan pembahasan terkait penelitian yang telah dilakukan yaitu data peramalan arus bocor dan nilai presentase yang didapatkan untuk 10 ke depan. Bagian ini menyajikan analisis kelayakan kinerja *Lightning Arrester Bay Transformator I* di Gardu Induk 150 kV Kebasen dengan

keputusan PLN. Tujuannya adalah untuk mengetahui apakah *Lightning Arrester* masih layak untuk bekerja secara efektif dan masih berkinerja dengan baik. Untuk itu, analisis dilakukan berdasarkan data arus bocor *Lightning Arrester Bay* Transformator I yang telah diperoleh dari perhitungan yang tercatat dari 2024 sampai 2034.

Dari hasil analisis arus bocor *Lightning Arrester* dapat dinyatakan baik dan layak beroperasi atau berkerja apabila arus bocor *Lightning Arrester* yang dihasilkan tidak melebihi nominal yang ditentukan oleh PLN seperti pada tabel 2.2. Untuk mempermudah analisis kelayakan kinerja *Lightning Arrester* dengan keputusan PLN maka akan dibuatkan tabel analisis seperti tabel 4.12 di bawah ini :

**Tabel 4. 12** Rekomendasi hasil analisa arus bocor *lightning arrester* tahun 2024-2034

Tahun	Arus Bocor ( $\mu\text{A}$ )			Presentase (%)			Rekomendasi		
	R	S	T	R	S	T	R	S	T
2024	54	41	49	36%	27%	32%	G	G	G
2025	64	52	56	42%	34%	37%	G	G	G
2026	75	62	66	50%	41%	44%	G	G	G
2027	86	72	76	57%	48%	50%	G	G	G
2028	97	82	86	64%	54%	57%	G	G	G
2029	108	92	96	72%	61%	64%	G	G	G
2030	119	102	106	79%	68%	70%	G	G	G
2031	130	112	116	86%	74%	77%	G	G	G
2032	141	122	126	94%	81%	84%	D	G	G
2033	152	132	136	101%	88%	90%	D	G	D
2034	163	142	146	108%	94%	97%	D	D	D

Keterangan :

D : kondisi *Damage*

G : kondisi *Good*



Berikut ini pembahasan analisis tentang kelayakan kinerja *Lightning Arrester* berdasarkan arus bocor *Lightning Arrester* pada tahun 2024 sampai 2034 :

#### **1. *Lightning Arrester Bay Transformator I Tahun 2024***

Hasil pengukuran arus bocor pada *Lightning Arrester Bay Transformator I* untuk fasa R, S, dan T berturut-turut adalah 54  $\mu\text{A}$ , 41  $\mu\text{A}$ , dan 49  $\mu\text{A}$ . Persentase arus bocor pada ketiga fasa tersebut (R, S, T) masing-masing sebesar 36%, 27%, dan 32%, yang berada dalam kisaran aman, jauh di bawah batas maksimum 90% yang telah ditetapkan pada SPLN T5.007.2014 yang ada pada tabel 2.2. Dengan kondisi ini, *Lightning Arrester* masih dalam kondisi baik dan layak untuk digunakan.

#### **2. *Lightning Arrester Bay Transformator I Tahun 2025***

Hasil pengukuran arus bocor pada *Lightning Arrester Bay Transformator I* untuk fasa R, S, dan T berturut-turut adalah 64  $\mu\text{A}$ , 52  $\mu\text{A}$  dan 56  $\mu\text{A}$ . Presentase arus bocor pada ketiga fasa tersebut (R, S, T) masing-masing sebesar 42%, 34% dan 37%, yang berada dikisaran aman, jauh di bawah batas maksimum  $\leq 90\%$  yang telah ditetapkan pada SPLN T5.007.2014 yaitu pada tabel 2.2. Dengan kondisi ini, *Lightning Arrester* masih dalam kondisi baik dan layak untuk digunakan.

#### **3. *Lightning Arrester Bay Transformator I Tahun 2026***

Hasil pengukuran arus bocor pada *Lightning Arrester* di gardu trafo I untuk fasa R, S, dan T masing-masing adalah 75  $\mu\text{A}$ , 62  $\mu\text{A}$ , dan 56  $\mu\text{A}$ . Persentase arus bocor pada ketiga fasa tersebut (R, S, T) berturut-turut sebesar 50%, 41%, dan 44%. Persentase ini masih berada dalam batas aman di bawah  $\leq 90\%$  yang telah ditetapkan pada SPLN T5.007.2014 yaitu pada tabel 2.2, sehingga *Lightning Arrester* masih layak untuk digunakan.

#### **4. *Lightning Arrester Bay Transformator I Tahun 2027***

Hasil pengukuran arus bocor pada *Lightning Arrester Bay Transformator I* untuk fase R, S, dan T berturut-turut adalah 86  $\mu\text{A}$ , 72  $\mu\text{A}$ , dan 76  $\mu\text{A}$ . Persentase arus bocor pada ketiga fase tersebut (R, S, T) masing-masing adalah 57%, 48%, dan 50%. Nilai ini masih berada dalam batas aman di bawah  $\leq 90\%$  yang telah ditetapkan pada SPLN T5.007.2014 yaitu pada tabel 2.2, sehingga *Lightning Arrester* masih layak digunakan.

#### **5. Lightning Arrester Bay Transformator I Tahun 2028**

Hasil pengukuran arus bocor pada *Lightning Arrester Bay* Transformator I untuk fase R, S, dan T berturut-turut adalah 97  $\mu\text{A}$ , 82  $\mu\text{A}$ , dan 86  $\mu\text{A}$ . Persentase arus bocor pada ketiga fase tersebut (R, S, T) masing-masing adalah 64%, 54%, dan 57%. Nilai ini masih berada dalam kondisi aman di bawah  $\leq 90\%$  yang telah ditetapkan pada SPLN T5.007.2014 yaitu pada tabel 2.2. Berdasarkan kondisi ini, *Lightning Arrester* masih berada dalam batas aman dan layak untuk digunakan.

#### **6. Lightning Arrester Bay Transformator I Tahun 2029**

Hasil pengukuran arus bocor pada *Lightning Arrester Bay* Transformator I untuk fase R, S, dan T berturut-turut adalah 108  $\mu\text{A}$ , 92  $\mu\text{A}$ , dan 96  $\mu\text{A}$ . Persentase arus bocor pada ketiga fase (R, S, T) masing-masing adalah 72%, 61%, dan 64%. Nilai-nilai ini masih berada dalam batas aman di bawah  $\leq 90\%$  yang telah ditetapkan pada SPLN T5.007.2014 yaitu pada tabel 2.2, sehingga *Lightning Arrester* tersebut masih layak digunakan.

#### **7. Lightning Arrester Bay Transformator I Tahun 2030**

Hasil pengukuran arus bocor pada *Lightning Arrester Bay* Transformator I untuk fasa R, S, dan T masing-masing adalah 119  $\mu\text{A}$ , 102  $\mu\text{A}$ , dan 106  $\mu\text{A}$ . Persentase arus bocor pada ketiga fasa tersebut (R, S, T) berturut-turut adalah 79%, 68%, dan 70%. Kondisi ini masih berada dalam batas aman di bawah  $\leq 90\%$  yang telah ditetapkan pada SPLN T5.007.2014 yaitu pada tabel 2.2, sehingga *Lightning Arrester* dinyatakan layak untuk digunakan.

#### **8. Lightning Arrester Bay Transformator I Tahun 2031**

Hasil pengukuran arus bocor pada *Lightning Arrester Bay* Transformator I untuk fase R, S, dan T masing-masing adalah 130  $\mu\text{A}$ , 112  $\mu\text{A}$ , dan 116  $\mu\text{A}$ . Persentase arus bocor pada ketiga fase (R, S, T) berturut-turut sebesar 87%, 74%, dan 77%. Kondisi ini masih berada di bawah batas maksimum  $\leq 90\%$  yang telah ditetapkan pada SPLN T5.007.2014 yaitu pada tabel 2.2, sehingga *Lightning Arrester* masih layak untuk digunakan.

#### **9. Lightning Arrester Bay Transformator I Tahun 2032**

Hasil pengukuran arus bocor pada *Lightning Arrester Bay* Transformator I untuk fasa R, S, dan T masing-masing adalah 141  $\mu\text{A}$ , 122  $\mu\text{A}$ , dan 126  $\mu\text{A}$ .

Persentase arus bocor pada ketiga fasa tersebut (R, S, T) berturut-turut adalah 94%, 81%, dan 84%. Meskipun mengalami peningkatan, pada fasa R ini sudah melebihi batas maksimum  $\leq 90\%$  yang telah ditetapkan pada SPLN T5.007.2014 yaitu pada tabel 2.2, persentase ini sudah melebihi batas aman sehingga *Lightning Arrester* tidak layak untuk digunakan dan perlu dilakukan pemeliharaan 6 bulan sekali. Dan untuk fasa S dan fasa T masih berada di bawah batas aman sehingga *Lightning Arrester* masih layak untuk digunakan.

#### **10. *Lightning Arrester Bay Transformator I Tahun 2033***

Hasil pengukuran arus bocor pada *Lightning Arrester Bay Transformator I* untuk fasa R, S, dan T berturut-turut adalah 152  $\mu\text{A}$ , 132  $\mu\text{A}$ , dan 136  $\mu\text{A}$ . Persentase arus bocor pada ketiga fasa (R, S, T) masing-masing adalah 101%, 88%, dan 90%. Kondisi ini fasa T sudah melebihi batas standar  $\leq 90\%$  yang telah ditetapkan pada SPLN T5.007.2014 yaitu pada tabel 2.2, sehingga *Lightning Arrester* tidak layak digunakan dan perlu dilakukan pemeliharaan 6 bulan sekali. Sedangkan untuk fasa S masih berada di bawah batas aman sehingga *Lightning Arrester* masih layak untuk digunakan. Sedangkan untuk fasa R perlu dilakukan penggantian *Lightning Arrester* dikarenakan sudah melebihi 101 % dari batasan standar.

#### **11. *Lightning Arrester Bay Transformator I Tahun 2034***

Hasil pengukuran arus bocor pada *Lightning Arrester Bay Transformator I* untuk fasa R, S, dan T berturut-turut adalah 163  $\mu\text{A}$ , 142  $\mu\text{A}$  dan 146  $\mu\text{A}$ . Presentase arus bocor pada ketiga fasa (R, S, T) masing-masing adalah 108%, 94% dan 97%. Kondisi fasa S dan fasa T sudah melebihi batas standar  $\leq 90\%$  yang telah ditetapkan pada SPLN T5.007.2014 yaitu pada tabel 2.2, sehingga *Lightning Arrester* tidak layak digunakan dan perlu dilakukan pemeliharaan 6 bulan sekali. Sedangkan untuk fasa R perlu dilakukan penggantian *Lightning arrester* dikarenakan sudah melebihi 108 % dari batasan standar.

## BAB V

### KESIMPULAN DAN SARAN

#### 5.1 Kesimpulan

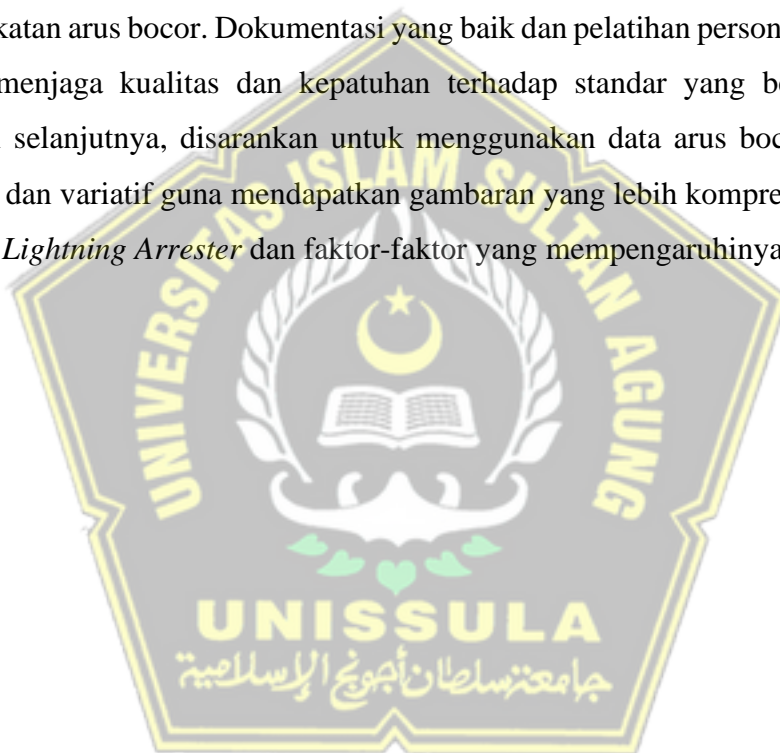
Berdasarkan dari hasil penelitian yang telah dilakukan maka dapat disimpulkan bahwa :

1. Berdasarkan pengukuran arus bocor selama beberapa tahun terakhir tahun 2024, didapatkan bahwa arus bocor pada setiap fasa (R, S, T) sebesar 54  $\mu\text{A}$ , 41  $\mu\text{A}$  dan 49  $\mu\text{A}$ . Dan nilai presentase arus bocor pada ketiga fasa masing-masing adalah 36%, 27% dan 32%. Hal ini dapat disimpulkan bahwa kinerja *Lightning Arrester* masih dalam batas aman, mengingat arus bocor yang terukur masih di bawah ambang batas yang ditetapkan, yaitu 90% dari batas maksimal arus bocor. *Lightning Arrester* pada Gardu Induk Kebasen saat ini masih berfungsi dengan sangat baik dan layak untuk terus digunakan.
2. Berdasarkan hasil analisa arus bocor pada *Lightning Arrester* (LA) jenis ZnO di Gardu Induk 150 kV Kebasen selama 10 tahun ke depan tepatnya pada tahun 2034, didapatkan bahwa arus bocor pada setiap fasa (R, S, T) sebesar 163  $\mu\text{A}$ , 142  $\mu\text{A}$  dan 146  $\mu\text{A}$ . Dan nilai persentase adalah 108%, 94% dan 97%. Kondisi ini sudah melebihi batas maksimum yang ditetapkan oleh SPLN T5.007.2014, yaitu  $\leq 90\%$ . Hal ini menunjukkan bahwa kinerja *Lightning Arrester* sudah tidak memenuhi standar yang berlaku dan sudah tidak layak untuk digunakan selama 10 tahun ke depan. Kelayakan *Lightning Arrester* secara keseluruhan pada tahun 2024 sampai 2034 ada yang tidak memenuhi standar yaitu pada tahun dan tahun 2032 fasa R dan 2034 fasa S, T perlu dilakukan pemeliharaan enam bulan sekali. Pada tahun 2033, 2034 fasa R, perlu dilakukan penggantian *Lightning Arrester*, dapat dinyatakan bahwa ada beberapa masih layak untuk melanjutkan operasional dan ada juga yang sudah tidak layak. Dengan demikian, berdasarkan data dan analisis yang ada, *Lightning Arrester* pada Gardu Induk Kebasen 10 tahun ke depan ada yang tidak berfungsi dengan baik dan tidak layak untuk terus digunakan.

## 5.2 Saran

Berdasarkan dari hasil penelitian dan analisa yang sudah dibahas saran yang dapat peneliti berikan sebagai berikut :

Berdasarkan analisis arus bocor pada *Lightning Arrester* di Gardu Induk 150 kV Kebasen, disarankan untuk melakukan pemantauan rutin arus bocor secara terjadwal dan melaksanakan pemeliharaan berkala untuk memastikan bahwa nilai arus bocor tetap dalam batas aman sesuai standar SPLN T5.007.2014. Evaluasi berkala terhadap kinerja *Lightning Arrester* perlu dilakukan untuk mengidentifikasi peningkatan arus bocor. Dokumentasi yang baik dan pelatihan personil juga penting untuk menjaga kualitas dan kepatuhan terhadap standar yang berlaku. Untuk peneliti selanjutnya, disarankan untuk menggunakan data arus bocor yang lebih banyak dan variatif guna mendapatkan gambaran yang lebih komprehensif tentang kinerja *Lightning Arrester* dan faktor-faktor yang mempengaruhinya.





## DAFTAR PUSTAKA

- [1] D. Andriawan, “Kinerja Arrester Yang Sudah Berusia Lebih Dari 10 Tahun Di Gardu Induk 150 KV Ungaran - Semarang,” *J. Tek. Elektro*, vol. 6, no. 2, 2014.
- [2] Timoti Zefanya Lumiu, “Performance Analysis of Lightning Arresters in Likupang Switchyard,” *J. Tek. Elektro dan Komput.*, p. 2, 2019.
- [3] A. W. Ramadhani, J. Joko, A. I. Agung, and T. Wrahatnolo, “Analisis Arus Bocor Resistif Pada Sistem Proteksi Lightning Arrester Bay Kedinding Di Gardu Induk 150 KV Kenjeran Surabaya,” *J. Tek. ELEKTRO*, vol. 12, no. 1, pp. 19–27, 2023, doi: 10.26740/jte.v12n1.p19-27.
- [4] I. P. Ramadhan, “Kinerja Lightning Arrester Yang Berusia Lebih Dari 30 Tahun Di Gardu Induk 150 kV Srandol Pt.Pln (Persero) Upt Semarang,” pp. 1–69, 2019.
- [5] Suparyanto dan Rosad, “Penentuan Kelayakan Arus Bocor Arus Bocor Lightning Arrester Di Gardu Induk 150KV CEPU,” *J. Tek. ELEKTRO*, vol. 5, no. 3, pp. 248–253, 2021.
- [6] M. Zainuddin, “Jarak Penempatan Lightning Arrester sebagai Pelindung Transformator terhadap Tegangan Lebih pada Gardu Induk 150 Kv Harapan Baru,” *JIMI*, vol. 76–78, no. 2, 2023, [Online]. Available: <https://jurnal.tiga-mutiara.com/index.php/jimi/index>
- [7] I Gede Tubagus Wiranata, “Analisa Kinerja Lightning Arrester pada Gardu Induk Ampenan 150 kV Menggunakan Software PSCAD,” *unram*, vol. 1–2, p. 10, 2020.
- [8] E. Mirs, “Lightning Arrester Analysis at Pandu 150 Kv Substation,” *Rom. J. Ofapplied Sci. Technol.*, vol. XIII, no. 3, pp. 254–260, 2010.
- [9] PLN, “Buku Pedoman Pemilihan Arrester untuk Jaringan Transmisi 66 kV,



150 kV, 275 kV, dan 500 kV,” *PT. PLN (Persero)*., 2014.

- [10] E. R. Ibnu Hajar, “Kajian Pemasangan Lightning Arrester Pada Sisi Hv Transformator Daya Unit Satu Gardu Induk Teluk Betung,” *Energi & Kelistrikan*, vol. 9, no. 2, pp. 168–179, 2018, doi: 10.33322/energi.v9i2.42.
- [11] R. Nasution and A. Yusmartato, “Analisa Penempatan Lightning Arester Sebagai Pengaman Gangguan Petir Di Gardu Induk Langsa,” *Cetak) Bul. Utama Tek.*, vol. 14, no. 3, pp. 1410–4520, 2019.
- [12] M. C. M. Barasa, L. S. Patras, and H. Tumaliang, “Analisis Kinerja Lightning Arrester Pada Jaringan Transmisi 150 Kv Sistem Minahasa Khususnya Pada Penyulang Kawangkoan - Lopana,” *J. Tek. Elektro dan Komput.*, vol. 6, no. 1, pp. 7–14, 2017, [Online]. Available: <https://ejournal.unsrat.ac.id/index.php/elekdankom/article/download/15567/15105>
- [13] Y. Yuniarto, “Profil Surja Hubung Karena Proses Energized (Pemberian Tenaga) Pada Saluran Transmisi 500 Kv,” *Gema Teknol.*, vol. 16, no. 1, p. 31, 2010, doi: 10.14710/gt.v16i1.364.
- [14] D. W. F. S. N. G. BAYU SANI DARUSMAN, “PENGUJIAN SURJA PETIR PADA TRANSFORMATOR 60 MVA PT. XD SAKTI INDONESIA,” *ugm*, vol. 1–2, pp. 1–9, 2020.
- [15] Sandy Ryan Handoko, “Analisa Penggunaan Lightning Arrester (LA) Pada Sistem Tenaga Listrik Gardu Induk 150 KV PLTU Rembang,” *JNTETI*, pp. 1–6, 2022.
- [16] H. Johan, “Analisis Regresi Linear,” *J. Chem. Inf. Model.*, vol. 53, no. 9, pp. 1–119, 2018.

# LAMPIRAN



ANALIANALISA UJI KELAYAKAN KINERJA LIGHTNING ARRESTER (LA) JENIS ZnO BERDASARKAN ARUS BOCOR PADA GARDU INDUK 150 KV KEBASEN DENGAN METODE REGRESI LINEARSA UJI KELAYAKAN KINERJA LIGHTNING ARRESTER (LA)

ORIGINALITY REPORT

**18%**

SIMILARITY INDEX

**18%**

INTERNET SOURCES

**2%**

PUBLICATIONS

**%**

STUDENT PAPERS

PRIMARY SOURCES

1	<a href="http://lib.unnes.ac.id">lib.unnes.ac.id</a> Internet Source	8%
2	<a href="http://ejournal.unesa.ac.id">ejournal.unesa.ac.id</a> Internet Source	2%
3	<a href="http://www.scribd.com">www.scribd.com</a> Internet Source	1%
4	<a href="http://pt.scribd.com">pt.scribd.com</a> Internet Source	1%
5	<a href="http://repository.mercubuana.ac.id">repository.mercubuana.ac.id</a> Internet Source	1%
6	<a href="http://www.neliti.com">www.neliti.com</a> Internet Source	1%
7	<a href="http://repository.unissula.ac.id">repository.unissula.ac.id</a> Internet Source	1%
8	<a href="http://pdfcoffee.com">pdfcoffee.com</a> Internet Source	1%
9	<a href="http://makalah-elektrical-engineering.blogspot.com">makalah-elektrical-engineering.blogspot.com</a> Internet Source	1%
10	<a href="http://eprints.polsri.ac.id">eprints.polsri.ac.id</a> Internet Source	1%
11	Dwigian Netha Putra DM, Muchtar Ali Setyo Yudono, Handrea Bernando Tambunan. "ANALISIS INSPEKSI LEVEL 2 TERHADAP KELAYAKAN OPERASI LIGHTNING ARRESTER DI GI CIANJUR", Jurnal Informatika dan Teknik Elektro Terapan, 2024 Publication	1%

Exclude quotes  Off  
Exclude bibliography  Off

Exclude matches  < 1%

# ANALISA UJI KELAYAKAN KINERJA LIGHTNING ARRESTER (LA) JENIS ZnO BERDASARKAN ARUSBOCOR PADA GARDU INDUK 150 KV KEBASEN DENGAN METODE REGRESI LINEAR

<sup>1</sup>MOHAMMAD CHOIRUL MU'TI, <sup>2</sup>Ida Widiastuti  
<sup>1,2,3</sup>Teknik Elektro, Fakultas Teknologi Industri, Universitas Islam Sultan Agung

\*Corresponding Author:

[1mohammadchoirul@std.unissula.ac.id](mailto:mohammadchoirul@std.unissula.ac.id), [2ida\\_fti@unissula.ac.id](mailto:ida_fti@unissula.ac.id)

## 4.2 Abstrak

Gardu Induk Kebasen berada di area persawahan yang memiliki karakteristik lingkungan khusus. Kondisi ini dapat mempengaruhi kinerja Lightning Arrester, terutama dalam hal keandalan dan masa pakainya. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui kinerja Lightning Arrester Bay Transformator I pada Gardu Induk Kebasen dalam 10 tahun kedepan apakah masih layak bekerja. Pada penelitian ini menggunakan metode regresi linear untuk memprediksi arus bocor yang dihasilkan oleh Lightning Arrester dalam 10 tahun ke depan apakah masih layak bekerja. Hasil dari penelitian ini pada tahun 2024 yaitu pengukuran arus bocor pada Lightning Arrester Bay Transformator I untuk fasa R, S, dan T berturut-turut adalah 54  $\mu$ A, 41 $\mu$ A dan 49  $\mu$ A. Presentase arus bocor pada ketiga fasa tersebut (R, S, T) masing-masing sebesar 36%, 27% dan 32%, ini sangat aman, jauh di bawah batas maksimum  $\leq 90\%$ . Sedangkan tahun 2032, 2033 dan 2034 pengukuran arus bocor Lightning Arrester Bay Transformator I untuk fasa R Presentase arus bocor pada ketiga fasa masing-masing 94%, 101% dan 101% yang berada melebihi dari batas aman maksimum  $\leq 90$ . Dan pada tahun 2034 fasa S, T presentase arus bocor 94% dan 97%. Untuk fasa R tahun 2033 dan 2034 perlu dilakukan penggantian.

**Kata Kunci:** Gardu Induk, Lightning Arrester, regresi linear, arus bocor.

## Abstract

Kebasen Substation is located in a rice field area that has special environmental characteristics. This condition can affect the performance of the Lightning Arrester, especially in terms of reliability and service life. This study aims to determine the performance of the Lightning Arrester Bay Transformer I at the Kebasen Substation in the next 10 years whether it is still feasible to work. This study uses a linear regression method to predict the leakage current generated by the Lightning Arrester in the next 10 years whether it is still feasible to work. The results of this study in 2024, namely the measurement of leakage current on the Lightning Arrester Bay Transformer

I for phases R, S, and T, were 54  $\mu$ A, 41 $\mu$ A and 49  $\mu$ A, respectively. The percentage of leakage current in the three phases (R, S, T) was 36%, 27% and 32%, respectively, this is very safe, far below the maximum limit of  $\leq 90\%$ . While in 2032, 2033 and 2034 the measurement of leakage current of Lightning Arrester Bay Transformer I for phase R The percentage of leakage current in the three phases is 94%, 101% and 101% respectively which is above the maximum safe limit

---

$\leq 90$ . And in 2034 the phase S, T the percentage of leakage current is 94% and 97%. For phase R in 2033 and 2034, replacement is needed.

**Keywords:** Substation, Lightning Arrester, linear regression, leakage current





## 1. PENDAHULUAN

Sistem tenaga listrik memiliki peran krusial dalam menyediakan energi yang andal dan aman bagi konsumen. Salah satu tantangan utama dalam sistem ini adalah perlindungan terhadap gangguan yang disebabkan oleh sambaran petir dan surja hubung. Gardu Induk (GI), sebagai komponen penting dalam transmisi dan distribusi listrik, memerlukan perlindungan yang efektif dari gangguan petir. Untuk tujuan ini, digunakan perangkat pelindung yang disebut Lightning Arrester (LA), yang berfungsi mengalihkan arus petir ke tanah dan melindungi peralatan dari kerusakan.

Gardu Induk (GI) Kebasen yang berada di Kabupaten Tegal merupakan salah satu elemen penting dalam jaringan transmisi listrik di daerah tersebut. Gardu Induk ini berfungsi sebagai penghubung antara jaringan transmisi dan distribusi, memastikan aliran listrik yang stabil dan dapat diandalkan untuk masyarakat. Mengingat peran strategis Gardu Induk Kebasen, perlindungan terhadap gangguan eksternal terutama sambaran petir, menjadi sangat penting. Dan gangguan internal contohnya kerusakan material akibat proses penuaan pada Lightning Arrester tersebut.

Untuk melindungi peralatan di GI Kebasen, digunakan Lightning Arrester (LA) jenis Zinc Oxide (ZnO). Alat ini dirancang untuk mengalihkan arus petir langsung ke tanah, sehingga mencegah kerusakan pada peralatan yang terhubung. Namun, Gardu Induk Kebasen berada di area persawahan yang memiliki karakteristik lingkungan khusus. Kondisi ini dapat mempengaruhi kinerja Lightning Arrester, terutama dalam hal keandalan dan masa pakainya.

Setelah beroperasi selama 10 tahun, Lightning Arrester di Gardu Induk Kebasen menunjukkan penurunan kinerja yang terindikasi oleh peningkatan arus bocor. Arus bocor ini bisa menjadi tanda awal dari penurunan kualitas isolasi dan potensi kegagalan fungsi Lightning Arrester. Mengingat peran penting Lightning Arrester dalam menjaga stabilitas operasional Gardu Induk Kebasen, penting untuk menilai kinerja Lightning Arrester secara menyeluruh.

Penelitian ini akan menilai kelayakan kinerja Lightning Arrester di Gardu Induk Kebasen dengan fokus pada analisis arus bocor yang diukur antara tahun 2022 dan 2024 dan meramal 10 tahun ke depan. Data ini akan dianalisis untuk menentukan apakah Lightning Arrester masih layak digunakan atau perlu diganti. Dengan mempertimbangkan usia Lightning Arrester di Gardu Induk Kebasen, penelitian ini diharapkan dapat memberikan pemahaman yang lebih mendalam tentang kondisi aktual Lightning Arrester dan langkah-langkah pemeliharaan yang diperlukan untuk memastikan keandalan Gardu Induk Kebasen di masa depan.

## 2. METODE

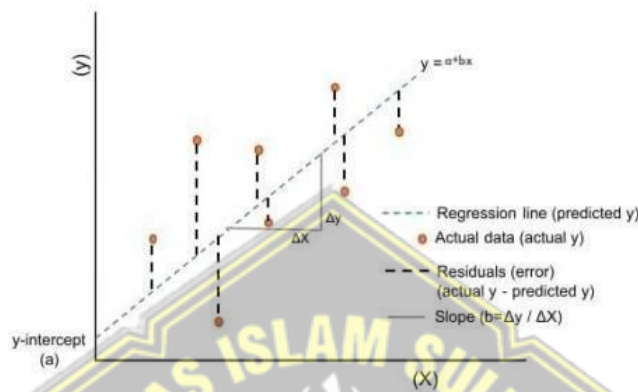
Dalam penelitian ini bertujuan untuk mengetahui kinerja Lightning Arrester yang sudah berumur 10 tahun di Gardu Induk 150 kV Kebasen dan untuk mengetahui layak atau tidaknya arus bocor untuk 10 tahun kedepan. Penelitian ini menggunakan metode regresi linier, yaitu teknik statistik yang digunakan untuk menganalisis keterkaitan antara variabel bebas (seperti umur atau usia pemakaian Lightning Arrester) dan variabel terikat (arus bocor R, S, T). Pada penelitian ini dilakukan analisis regresi sederhana untuk



menentukan arus bocor Lightning Arrester di Gardu Induk 150 kV Kebasen. Analisis regresi sederhana ditentukan oleh koefisien yang dapat dihitung dengan rumus persamaan (1).

$$Y = a + bX \tag{1}$$

dengan : Y = garis regresi / variabel respon (arus bocor R, S, T), a = konstanta (*intersep*), perpotongan sumbu vertikal, b = konstanta regresi (*slope*), X = variabel bebas / prediktor (umur lightning arrester)



Gambar 1. Grafik regresi linear

Variabel dependen mempengaruhi hasil variabel independen. Setelah persamaan regresi ditemukan, dengan harga b merupakan perbandingan antara panjang garis variabel independen dengan variabel dependen. Nilai x sama dengan nilai usia Lightning Arrester 10 tahun mendatang yang berada pada Gardu Induk 150 kV Kebasen pada persamaan (2) dan (3).

$$a = \frac{(\sum Yi) (\sum X^2) - (\sum Yixi)}{n \sum Xi^2 - (\sum Xi)^2} \tag{2}$$

$$b = \frac{n \sum XiYi - (\sum Xi) (\sum Yi)}{n \sum Xi^2 - (\sum Xi)^2} \tag{3}$$

Dimana :  $\sum X$  = jumlah umur lightning arrester,  $\sum Y$  = jumlah arus bocor (R, S, T), n = banyaknya variabel X dan Y

Setelah dilakukan perhitungan regresi linear untuk memprediksi arus bocor 10 tahun kedepan. Selanjutnya yaitu perhitungan presentase tujuan dari perhitungan ini untuk mengetahui kondisi Lightning Arrester dalam keadaan baik atau tidaknya juga dapat diketahui dan dibuktikan dengan perhitungan presentase dengan menggunakan persamaan (4).

$$\text{Presentase} = \frac{IR_{corr}}{IR_{ref}} \times 100\% \tag{4}$$

Keterangan : IRcorr = Arus korektif, IRreff = Batasan arus bocor

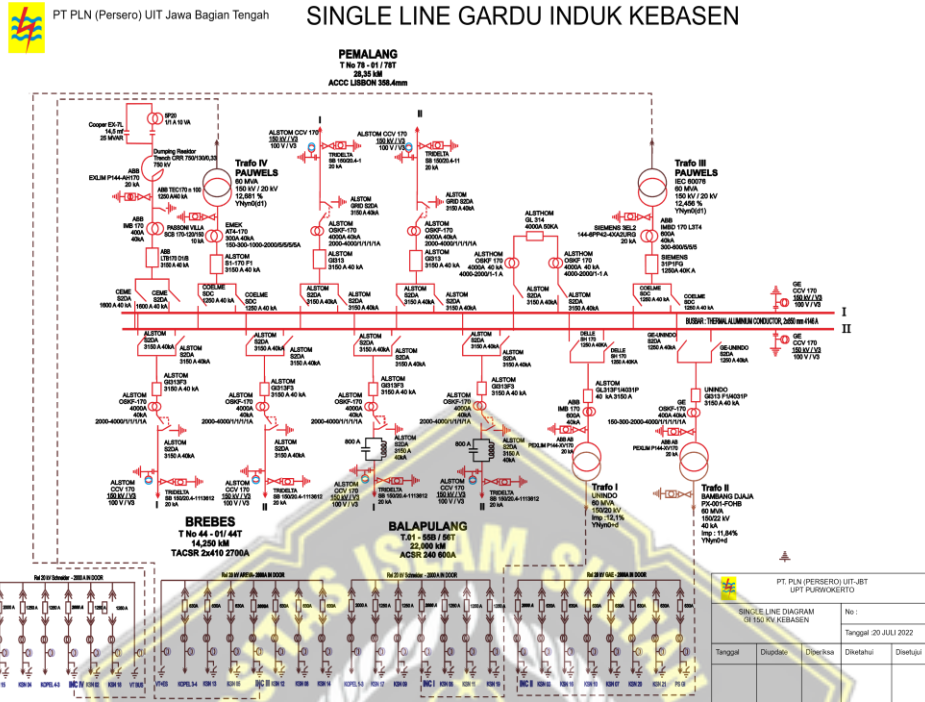
Penelitian ini dilakukan dengan cara studi dokumentasi, yaitu dengan mengumpulkan

informasi dan mempelajari dokumen-dokumen untuk memperoleh informasi yang dibutuhkan untuk penelitian ini. Yaitu dengan cara berkoordinasi dengan pihak Gardu

Universitas Islam Sultan Agung  
Semarang, 14 November 2024



Induk 150 KV Kebasen untuk mendapatkan data yang diperlukan perhitungan sistematis dengan metode regresi linier. Kemudian hasil yang didapatkan akan di analisis apakah sudah sesuai dengan standar yang berlaku yang diperlihatkan pada Gambar 1.



Gambar 2. Single line diagram Gardu Induk Kebasen

Untuk data yang dibutuhkan dalam penelitian ini adalah data name plate Lightning Arrester. Lightning Arrester (LA) di Gardu Induk Kebasen dilengkapi dengan spesifikasi yang sesuai dengan standar kinerja tinggi. Modelnya adalah PEXLIM Q132-XV170, yang dirancang untuk mengelola lonjakan tegangan dan arus listrik secara efisien. Diproduksi oleh ABB AB di Swedia pada tahun 2014, dan sekarang usianya sekitar 10 tahun Lightning Arrester (LA) ini berasal dari merek ternama yang dikenal akan kualitas dan keandalannya di sektor kelistrikan. Diklasifikasikan dalam kategori 20 kA, Lightning Arrester (LA) ini dapat menahan arus lonjakan yang signifikan hingga 20 kiloampere, sehingga sangat efektif untuk menjaga sistem transmisi tegangan tinggi. Spesifikasi ini memastikan bahwa Lightning Arrester (LA) memberikan perlindungan yang handal dan kinerja yang optimal bahkan dalam kondisi operasional yang berat yang diperlihatkan pada Gambar 2.



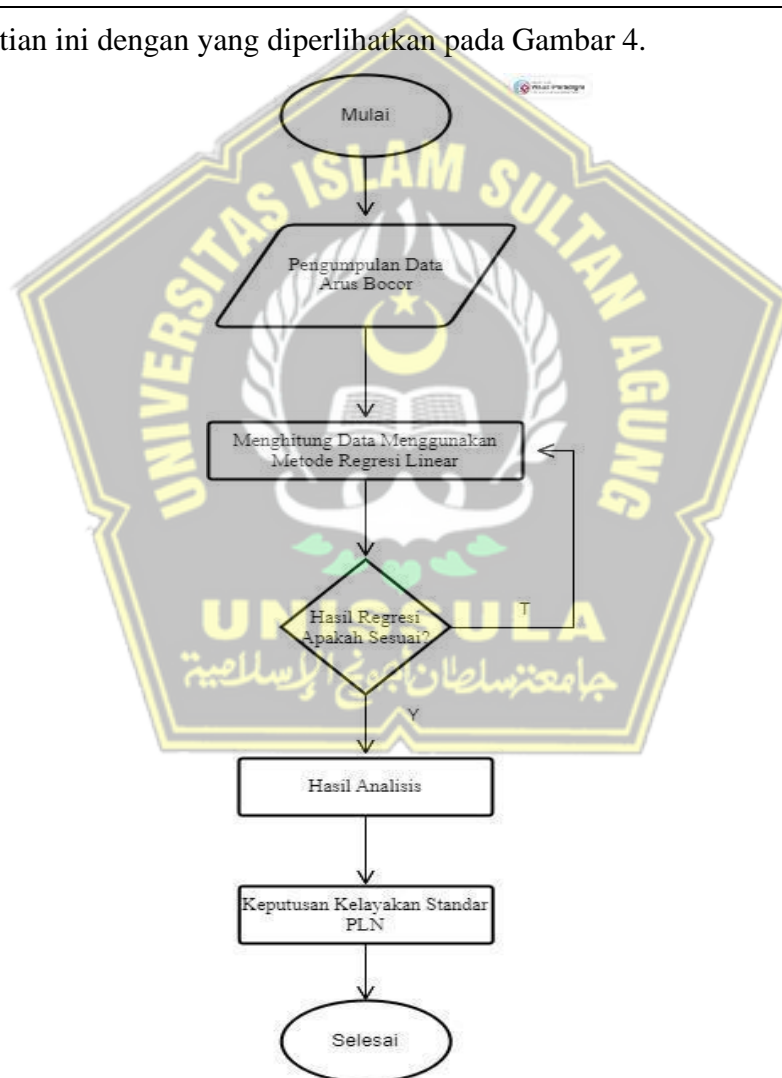
Gambar 2 Name plate LA



Tabel 2. Data arus bocor 2022-2024

No	Bay	Tahun	Fasa	Arus bocor (uA)
1			R	32
2	Trafo 1	2022	S	21
3			T	29
4			R	42
5	Trafo 1	2023	S	34
6			T	31
7			R	54
8	Trafo 1	2024	S	41
9			T	49

Tahap penelitian ini dengan yang diperlihatkan pada Gambar 4.



Gambar 4. Flowchart Penelitian

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Tabel 3 menunjukkan hasil perhitungan presentase pada data arus bocor Lightning Arrester Bay penghantar Transformator I 2024 dengan menggunakan persamaan (4).

Perhitungan Presentase fasa

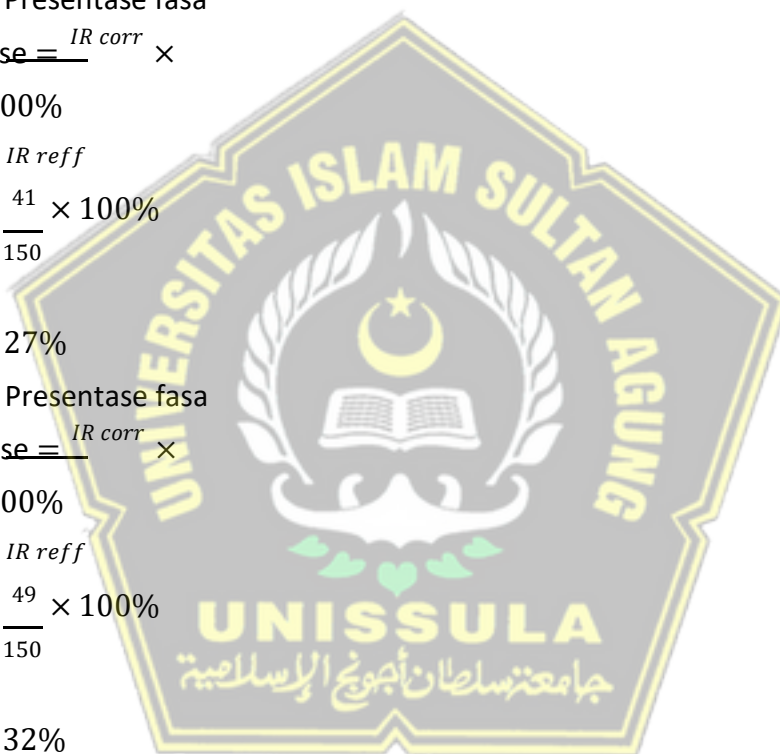
$$\begin{aligned}
 R\text{Presentase} &= \frac{IR\ corr}{IR\ reff} \times 100\% \\
 &= \frac{54}{150} \times 100\% \\
 &= 36\%
 \end{aligned}$$

Perhitungan Presentase fasa

$$\begin{aligned}
 S\text{Presentase} &= \frac{IR\ corr}{IR\ reff} \times \\
 &100\% \\
 &= \frac{41}{150} \times 100\% \\
 &= 27\%
 \end{aligned}$$

Perhitungan Presentase fasa

$$\begin{aligned}
 T\text{Presentase} &= \frac{IR\ corr}{IR\ reff} \times \\
 &100\% \\
 &= \frac{49}{150} \times 100\% \\
 &= 32\%
 \end{aligned}$$



Tabel 3. Hasil presentase arus bocor pada tahun 2024

No	Bay Penghantar	Standar	Tahun	Arus Bocor		
				R	S	T
1	Trafo 1	SPLN T5.007.2014.	2024	36%	27%	32%

Tabel 5 menunjukkan hasil peramalan arus bocor Lightning Arrester Bay Transformator I fasa R untuk 10 tahun ke depan dengan metode regresi linear dengan menggunakan persamaan (2) dan (3).

Untuk mempermudah perhitungan data menggunakan metode regresi linear maka akan dibuatkan tabel perhitungan konstanta regresi linear seperti tabel 4.



Tabel 4. Perhitungan dengan metode regresi linear

Universitas Islam Sultan Agung  
Semarang, 14 November 2024

No	Umur LA (Tahun) (X)	Arus bocor ( $\mu\text{A}$ ) (Y)	$X^2$	XY
1	1	32	1	32
2	2	42	4	84
3	3	54	9	162
$\Sigma$	6	128	14	278



Menghitung konstanta a

$$a = \frac{(\sum Y)(\sum X^2) - (\sum X)(\sum XY)}{(n)(\sum X^2) - (\sum X)^2}$$

$$a = \frac{(128)(14) - (6)(278)}{(3)(14) - (6)^2}$$

$$a = \frac{1792 - 1668}{42 - 36}$$

$$a = \frac{124}{6}$$

$$a = 20$$

Menghitung konstanta b

$$b = \frac{(n)(\sum XY) - (\sum X)(\sum Y)}{(n)(\sum X^2) - (\sum X)^2}$$

$$b = \frac{(3)(278) - (26)(128)}{(3)(14) - (6)^2}$$

$$b = \frac{834 - 768}{42 - 36}$$

$$b = \frac{66}{6}$$

$$b = 11$$

Maka setelah mengetahui nilai dari konstanta nilai a dan b didapatkan persamaan regresi linear adalah :

$$Y = 20 + 11X$$

Maka dengan nilai persamaan, tersebut kita dapat menghitung nilai peramalan arus bocor pada transformator I fasa R yang ada pada Gardu Induk 150 kV Kebasen untuk 10 tahun mendatang dari tahun 2025 sampai 2034 mendatang.

Maka perhitungan menggunakan persamaan (1).

$$Y = a + bX$$

$$Y_{2025} = 20 + 11(4)$$

$$Y_{2025} = 20 + 44$$

$$Y_{2025} = 64$$

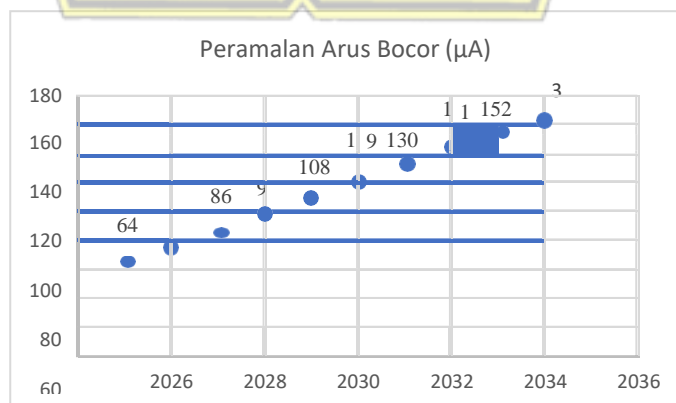
Maka arus bocor lightning arrester bay transformator pada tahun 2025 sebesar 64  $\mu$ A. Untuk yang lain dapat dihitung sesuai tabel 5.

Tabel 5 Peramalan arus bocor lightning arrester 10 tahun kedepan dengan metode regresi linear

No	Tahun	Umur LA (X)	Peramalan Arus Bocor ( $\mu$ A) $Y = a + b X$
1	2025	11 Tahun	64
2	2026	12 Tahun	75
3	2027	13 Tahun	86
4	2028	14 Tahun	97
5	2029	15 Tahun	108
6	2030	16 Tahun	119
7	2031	17 Tahun	130
8	2032	18 Tahun	141
9	2033	19 Tahun	152
10	2034	20 Tahun	163

Berdasarkan Tabel 5 yang merinci perkiraan arus bocor Lightning Arrester Bay transformator 1 menggunakan metode regresi linier untuk 10 tahun ke depan, terlihat bahwa arus bocor meningkat seiring bertambahnya usia Lightning Arrester. Pada tahun 2025, saat Lightning Arrester mencapai usia 11 tahun, arus bocor diperkirakan mencapai 64  $\mu$ A. Saat usia Lightning arrester berusia 20 tahun mencapai prediksi 163  $\mu$ A pada tahun 2034.

Untuk grafik peramalan arus bocor Lightning Arrester Bay Transformator 1 dengan menggunakan metode regresi linear dapat dilihat pada Gambar 5.



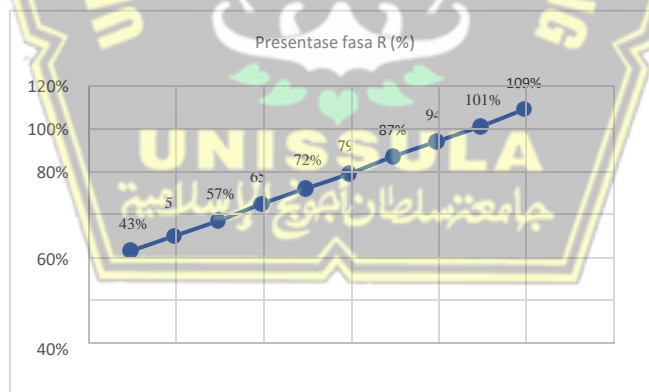
Gambar 5. Grafik peramalan arus bocor lightning arrester bay transformator I fasa R dengan metode regresi linear

Tabel 6 menunjukkan hasil perhitungan presentase pada data arus bocor Lightning Arrester Bay penghantar Transformator I fasa R untuk 10 tahun ke depan dengan menggunakan persamaan (4).

Tabel 6. Presentase arus bocor lightning arrester bay transformator I fasa R

No	Tahun	Standar SPLN ( $\mu$ A)	Data Arus Bocor yang diperoleh ( $\mu$ )	Presentase fasa R (%)
1	2025	150	64	43%
2	2026		75	50%
3	2027		86	57%
4	2028		97	65%
5	2029		109	72%
6	2030		119	79%
7	2031		130	87%
8	2032		141	94%
9	2033		152	101%
10	2034		163	109%

Untuk grafik presentase arus bocor Lightning Arrester Bay Transformator I fasa R dengan menggunakan metode regresi linear dapat dilihat pada Gambar 6.



Gambar 6. Grafik presentase arus bocor lightning arrester bay transformator I fasa R

Tabel 7 menunjukkan hasil peramalan arus bocor Lightning Arrester Bay Transformator I fasa S untuk 10 tahun ke depan dengan metode regresi linear dengan menggunakan persamaan (2) dan (3).

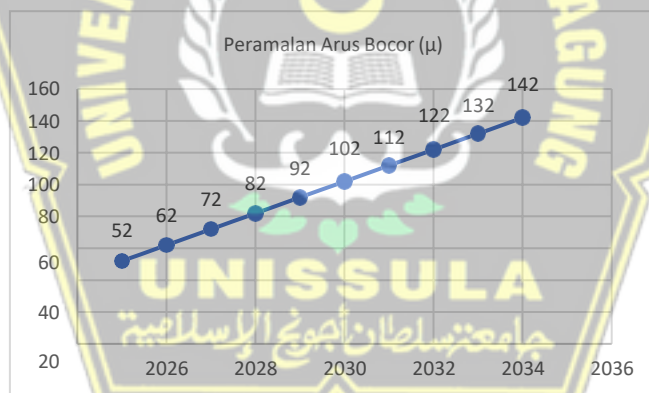
Tabel 7. Peramalan arus bocor lightning arrester bay transformator I fasa S

No	Tahun	Umur LA (X)	Peramalan Arus Bocor ( $\mu$ )
----	-------	----------------	-----------------------------------

$Y = a + bX$			
1	2025	11 Tahun	52
2	2026	12 Tahun	62
3	2027	13 Tahun	72
4	2028	14 Tahun	82
5	2029	15 Tahun	92
6	2030	16 Tahun	102
7	2031	17 Tahun	112
8	2032	18 Tahun	122
9	2033	19 Tahun	132
10	2034	20 Tahun	142

Berdasarkan tabel 7 peramalan arus bocor pada lightning arrester bay transformator 1 fasa S menggunakan metode regresi linear menunjukkan adanya peningkatan signifikan dalam 10 tahun mendatang. Pada tahun 2025, ketika usia lightning arrester mencapai 11 tahun, arus bocor diperkirakan sebesar 52  $\mu$ A dan usia 20 tahun arus bocor sebesar 142  $\mu$ A.

Untuk grafik peramalan arus bocor Lightning Arrester Bay Transformator I fasa S dengan menggunakan metode regresi linear dapat dilihat pada Gambar 7.



Gambar 7. Grafik peramalan arus bocor lightning arrester bay transformator I fasa S dengan metode regresi linear

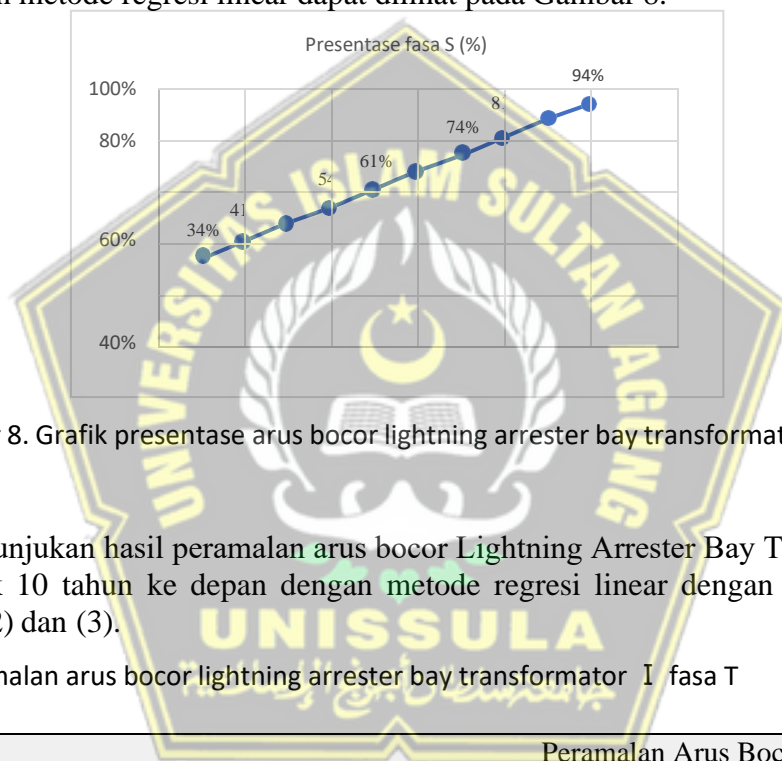
Tabel 8 menunjukkan hasil perhitungan presentase pada data arus bocor Lightning Arrester Bay penghantar Transformator I fasa S untuk 10 tahun ke depan dengan menggunakan persamaan (4).

Tabel 8. Peresentase arus bocor lightning arrester bay transformator I fasa S

No	Tahun	Standar SPLN (μ)	Data Arus Bocor yang diperoleh (μ)	Presentase fasa S (%)
1	2025	150	52	34%
2	2026		62	41%

3	2027	72	48%
4	2028	82	54%
5	2029	92	61%
6	2030	102	68%
7	2031	112	74%
8	2032	122	81%
9	2033	132	88%
10	2034	142	94%

Untuk grafik presentase arus bocor Lightning Arrester Bay Transformator I fasa S dengan menggunakan metode regresi linear dapat dilihat pada Gambar 8.



Gambar 8. Grafik presentase arus bocor lightning arrester bay transformator I fasa S

Tabel 9 menunjukkan hasil peramalan arus bocor Lightning Arrester Bay Transformator I fasa T untuk 10 tahun ke depan dengan metode regresi linear dengan menggunakan persamaan (2) dan (3).

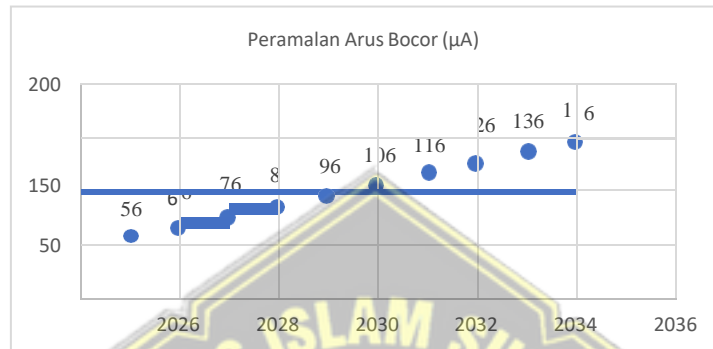
Tabel 9. Peramalan arus bocor lightning arrester bay transformator I fasa T

No	Tahun	Umur LA (x)	Peramalan Arus Bocor
			( $\mu$ ) $Y = a + bX$
1	2025	11 Tahun	56
2	2026	12 Tahun	66
3	2027	13 Tahun	76
4	2028	14 Tahun	86
5	2029	15 Tahun	96
6	2030	16 Tahun	106
7	2031	17 Tahun	116
8	2032	18 Tahun	126
9	2033	19 Tahun	136



Berdasarkan Tabel 9 peramalan arus bocor Lightning Arrester (LA) Bay Transformator I fasa T tercatat sebesar 56  $\mu$ A pada tahun 2025, ketika LA berusia 11 tahun. Dan pada tahun 2034, saat usia LA mencapai 20 tahun, arus bocor diproyeksikan mencapai 146  $\mu$ A.

Untuk grafik peramalan arus bocor Lightning Arrester Bay Transformator I fasa T dengan menggunakan metode regresi linear dapat dilihat pada Gambar 9.



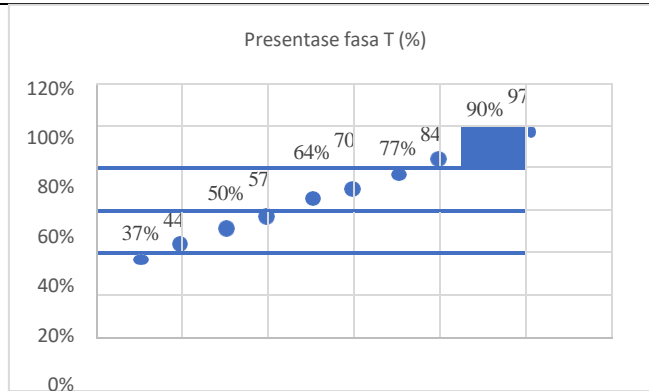
Gambar 9. Grafik peramalan arus bocor lightning arrester bay transformator I fasa T dengan metode regresi linear

Tabel 10 menunjukkan hasil perhitungan presentase pada data arus bocor Lightning Arrester Bay penghantar Transformator I fasa T untuk 10 tahun ke depan dengan menggunakan persamaan (4).

Tabel 10. Presentase arus bocor lightning arrester bay transformator I fasa T

No	Tahun	Standar SPLN ( $\mu$ )	Data Arus Bocor yang diperoleh ( $\mu$ )	Presentase fasa T (%)
1	2025	150	56	37%
2	2026		66	44%
3	2027		76	50%
4	2028		86	57%
5	2029		96	64%
6	2030		106	70%
7	2031		116	77%
8	2032		126	84%
9	2033		136	90%
10	2034		146	97%

Untuk grafik presentase arus bocor Lightning Arrester Bay Transformator I fasa T dengan menggunakan metode regresi linear dapat dilihat pada Gambar 10.



Gambar 10. Grafik presentase arus bocor lightning arrester bay transformator I fasa T

Tabel 11 menunjukkan rekomendasi hasil analisa arus bocor Lightning Arrester tahun 2024-2034 dengan keputusan kelayakan standar PLN. Untuk mempermudah analisis kelayakan kinerja Lightning Arrester dengan keputusan PLN maka akan dibuatkan tabel analisis.

Tabel 11. Rekomendasi hasil analisa arus bocor lightning arrester tahun 2024-2034

Tahun	Arus Bocor ( $\mu$ )			Presentase (%)			Rekomendasi		
	R	S	T	R	S	T	R	S	T
2024	54	41	49	36%	27%	32%	G	G	G
2025	64	52	56	43%	34%	37%	G	G	G
2026	75	62	66	50%	41%	44%	G	G	G
2027	86	72	76	57%	48%	50%	G	G	G
2028	97	82	86	65%	54%	57%	G	G	G
2029	108	92	96	72%	61%	64%	G	G	G
2030	119	102	106	79%	68%	70%	G	G	G
2031	130	112	116	87%	74%	77%	G	G	G
2032	141	122	126	94%	81%	84%	D	G	G
2033	152	132	136	101%	88%	90%	D	G	D
2034	163	142	146	108%	94%	97%	D	D	D

Berdasarkan Tabel 11 hasil pengukuran arus bocor Lightning Arrester (LA) Bay Transformator I fasa R, S, dan T pada tahun 2032 masing-masing adalah 141  $\mu$ A, 122  $\mu$ A, dan 126  $\mu$ A. Persentase arus bocor pada ketiga fasa tersebut (R, S, T) berturut-turut adalah 94%, 81%, dan 84%. Meskipun mengalami peningkatan, pada fasa R ini sudah melebihi batas maksimum  $\leq 90\%$ . Dan pada tahun 2033 pengukuran arus bocor masing-masing adalah 152,7  $\mu$ A, 132  $\mu$ A, dan 136,4  $\mu$ A. Persentase arus bocor pada ketiga fasa (R, S, T) masing-masing adalah 101%, 88%, dan 90%. Kondisi ini fasa R dan fasa T sudah melebihi batas standar  $\leq 90\%$ . Selanjutnya pada tahun 2034 pengukuran arus bocor masing-masing adalah 163  $\mu$ A, 142  $\mu$ A dan 146  $\mu$ A. Presentase arus bocor pada ketiga fasa (R, S, T) masing-masing adalah 108%, 94% dan 97%. Kondisi fasa S dan fasa T sudah melebihi batas standar  $\leq 90\%$  yang telah ditetapkan pada SPLN T5.007.2014.

#### 4. KESIMPULAN

Berdasarkan dari hasil penelitian yang telah dilakukan maka dapat disimpulkan bahwa :

1. Berdasarkan pengukuran arus bocor selama beberapa tahun terakhir tahun 2024, didapatkan bahwa arus bocor pada setiap fasa (R, S, T) sebesar 54  $\mu\text{A}$ , 41  $\mu\text{A}$  dan 49  $\mu\text{A}$ . Dan nilai presentase arus bocor pada ketiga fasa masing-masing adalah 36%, 27% dan 32%. Hal ini dapat disimpulkan bahwa kinerja *Lightning Arrester* masih dalam batas aman, mengingat arus bocor yang terukur masih di bawah ambang batasyang ditetapkan, yaitu 90% dari batas maksimal arus bocor. *Lightning Arrester* pada Gardu Induk Kebasen saat ini masih berfungsi dengan sangat baik dan layak untuk terus digunakan.
2. Berdasarkan hasil analisa arus bocor pada *Lightning Arrester* (LA) jenis ZnO di Gardu Induk 150 kV Kebasen selama 10 tahun ke depan tepatnya pada tahun 2034, didapatkan bahwa arus bocor pada setiap fasa (R, S, T) sebesar 163  $\mu\text{A}$ , 142  $\mu\text{A}$  dan 146  $\mu\text{A}$ . Dan nilai persentase adalah 108%, 94% dan 97%. Kondisi ini sudah melebihi batas maksimum yang ditetapkan oleh SPLN T5.007.2014, yaitu  $\leq 90\%$ . Hal ini menunjukkan bahwa kinerja *Lightning Arrester* sudah tidak memenuhistandar yang berlaku dan sudah tidak layak untuk digunakan selama 10 tahun ke depan. Kelayakan *Lightning Arrester* secara keseluruhan pada tahun 2024 sampai 2034 ada yang tidak memenuhi standar yaitu pada tahun dan tahun 2032 fasa R dan 2034 fasa S, T perlu dilakukan pemeliharaan enam bulan sekali. Pada tahun 2033, 2034 fasa R, perlu dilakukan penggantian *Lightning Arrester*, dapat dinyatakan bahwa ada beberapa masih layak untuk melanjutkan operasional dan ada juga yang sudah tidak layak. Dengan demikian, berdasarkan data dan analisis yang ada *Lightning Arrester* pada Gardu Induk Kebasen 10 tahun ke depan ada yang tidak berfungsi dengan baik dan tidak layak untuk terus digunakan.

#### 4.3 DAFTAR PUSTAKA

- D. Andriawan, “Kinerja Arrester Yang Sudah Berusia Lebih Dari 10 Tahun Di Gardu Induk 150 KV Ungaran - Semarang,” *J. Tek. Elektro*, vol. 6, no. 2, 2014.
- Timoti Zefanya Lumiu, “Performance Analysis of Lightning Arresters in Likupang Switchyard,” *J. Tek. Elektro dan Komput.*, p. 2, 2019.
- A. W. Ramadhani, J. Joko, A. I. Agung, and T. Wrahatnolo, “Analisis Arus Bocor Resistif Pada Sistem Proteksi Lightning Arrester Bay Kedinding Di Gardu Induk 150 KV Kenjeran Surabaya,” *J. Tek. ELEKTRO*, vol. 12, no. 1, pp. 19–27, 2023, doi: 10.26740/jte.v12n1.p19-27.
- I. P. Ramadhan, “Kinerja Lightning Arrester Yang Berusia Lebih Dari 30 Tahun Di Gardu Induk 150 kV Sronдол Pt.Pln (Persero) Upt Semarang,” pp. 1–69, 2019.
- Suparyanto dan Rosad, “Penentuan Kelayakan Arus Bocor Arus Bocor Lightning Arrester Di Gardu Induk 150KV CEPU,” *J. Tek. ELEKTRO*, vol. 5, no. 3, pp. 248–253, 2021.
- M. Zainuddin, “Jarak Penempatan Lightning Arrester sebagai Pelindung Transformator terhadap Tegangan Lebih pada Gardu Induk 150 Kv Harapan Baru,” *JIMI*, vol. 76–78, no. 2, 2023, [Online]. Available: <https://jurnal.tiga-mutiara.com/index.php/jimi/index>

---

I Gede Tubagus Wiranata, “Analisa Kinerja Lightning Arrester pada Gardu Induk Ampenan 150 kV Menggunakan Software PSCAD,” *unram*, vol. 1–2, p. 10, 2020.



- E. Mirs, "Lightning Arrester Analysis at Pandu 150 Kv Substation," *Rom. J. Ofapplied Sci. Technol.*, vol. XIII, no. 3, pp. 254–260, 2010.
- PLN, "Buku Pedoman Pemilihan Arrester untuk Jaringan Transmisi 66 kV, 150 kV, 275 kV, dan 500 kV," *PT. PLN (Persero)*., 2014.
- E. R. Ibnu Hajar, "Kajian Pemasangan Lightning Arrester Pada Sisi Hv Transformator Daya Unit Satu Gardu Induk Teluk Betung," *Energi & Kelistrikan*, vol. 9, no. 2, pp. 168–179, 2018, doi: 10.33322/energi.v9i2.42.
- R. Nasution and A. Yusmartato, "Analisa Penempatan Lightning Arester Sebagai Pengaman Gangguan Petir Di Gardu Induk Langsa," *Cetak) Bul. Utama Tek.*, vol. 14, no. 3, pp. 1410–4520, 2019.
- M. C. M. Barasa, L. S. Patras, and H. Tumaliang, "Analisis Kinerja Lightning Arrester Pada Jaringan Transmisi 150 Kv Sistem Minahasa Khususnya Pada Penyulang Kawangkoan - Lopana," *J. Tek. Elektro dan Komput.*, vol. 6, no. 1, pp. 7–14, 2017, [Online]. Available: <https://ejournal.unsrat.ac.id/index.php/elekdankom/article/download/15567/15105>
- Y. Yuniarto, "Profil Surja Hubung Karena Proses Energized (Pemberian Tenaga) Pada Saluran Transmisi 500 Kv," *Gema Teknol.*, vol. 16, no. 1, p. 31, 2010, doi: 10.14710/gt.v16i1.364.
- D. W. F. S. N. G. BAYU SANI DARUSMAN, "PENGUJIAN SURJA PETIR PADA TRANSFORMATOR 60 MVA PT. XD SAKTI INDONESIA," *ugm*, vol. 1–2, pp. 1–9, 2020.
- Sandy Ryan Handoko, "Analisa Penggunaan Lightning Arrester (LA) Pada Sistem Tenaga Listrik Gardu Induk 150 KV PLTU Rembang," *JNTETI*, pp. 1–6, 2022.
- H. Johan, "Analisis Regresi Linear," *J. Chem. Inf. Model.*, vol. 53, no. 9, pp. 1–119, 2018.

