

**EVALUASI PENEMPATAN JARAK AMAN LIGHTNING  
ARRESTER TERHADAP TRAF0 DAYA 3 X 60 MVA PADA  
GARDU INDUK 150/20 kV BREBES**

**LAPORAN TUGAS AKHIR**

LAPORAN INI DISUSUN UNTUK MEMENUHI SALAH SATU SYARAT  
MEMPEROLEH GELAR SARJANA STRATA SATU (S-1) PADA  
PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO  
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI  
UNIVERSITAS ISLAM SULTAN AGUNG



**DISUSUN OLEH:**

**RIZA ARIF TAUFANI**

**NIM. 30601900002**

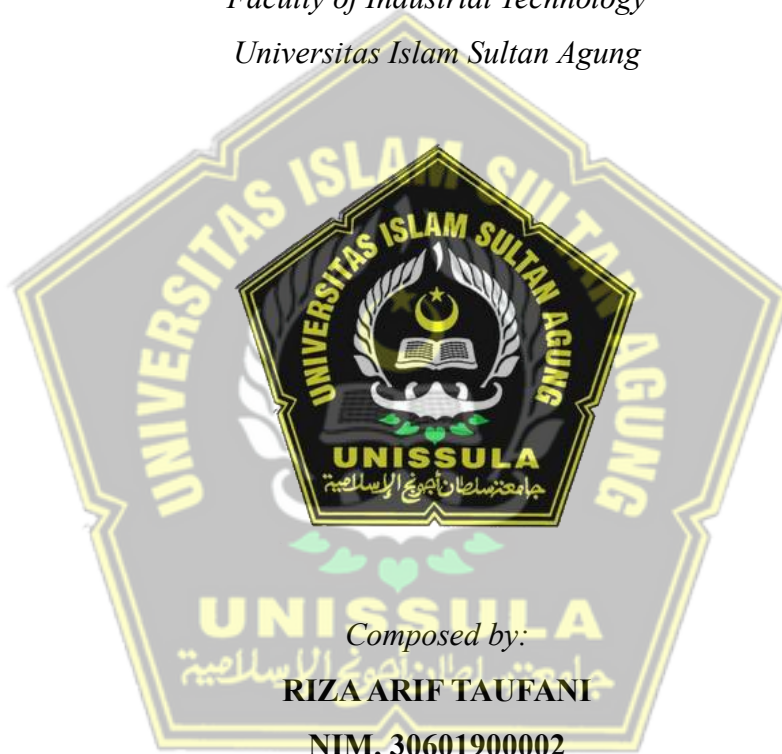
**PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO  
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI  
UNIVERSITAS ISLAM SULTAN AGUNG  
SEMARANG**

**2026**

**FINAL PROJECT**

**EVALUATION OF THE SAFE DISTANCE PLACEMENT OF LIGHTNING  
ARRESTERS TO 3 X 60 MVA POWER TRANSFORMERS AT THE 150/20  
kV BREBES SUBSTATION**

*Proposed to complete the requirement to obtain a bachelor's degree (S-1) at  
Departement of Electrical Engineering  
Faculty of Industrial Technology  
Universitas Islam Sultan Agung*



**ELECTRICAL ENGINEERING STUDY PROGRAM  
FACULTY OF INDUSTRIAL TECHNOLOGY  
UNIVERSITY ISLAMIC SULTAN AGUNG  
SEMARANG**

**2026**

## LEMBAR PENGESAHAN PEMBIMBING

Laporan Tugas Akhir dengan judul “EVALUASI PENEMPATAN JARAK AMAN LIGHTNING ARRESTER TERHADAP TRANSFORMATOR DAYA 3 X 60 MVA PADA GARDU INDUK 150/20 KV BREBES” ini disusun oleh:

Nama : Riza Arif Taufani

NIM : 30601900002

Program Studi : S1/Teknik Elektro

Telah disahkan oleh dosen pembimbing pada :

Hari : Senin

Tanggal : 23 Februari 2026



Mengetahui,

Ketua Program Studi Teknik Elektro



## LEMBAR PENGESAHAN PENGUJI

Laporan Tugas Akhir dengan judul “EVALUASI PENEMPATAN JARAK AMAN LIGHTNING ARRESTER TERHADAP TRANSFORMATOR DAYA 3 X 60 MVA PADA GARDU INDUK 150/20 KV BREBES” ini telah dipertahankan di depan penguji

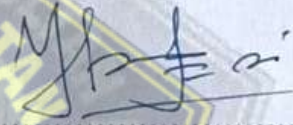
Hari : Senin

Tanggal : 23 Februari 2026


Tim Penguji

Tanda Tangan

Ir. Ida Widiastuti, M.T.  
NIDN.0005036501  
Ketua Penguji



Munaf Ismail, S.T., M.T.  
NIDN. 0613127302  
Penguji I

  
23/2/26

Prof. Dr. Ir. Muhamad Haddin M.T.  
NIDN. 0618066301  
Penguji II



## SURAT PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR

Yang bertandatangan dibawah ini:

Nama : Riza Arif Taufani

Nim : 30601900002

Judul Tugas Akhir : EVALUASI PENEMPATAN JARAK AMAN LIGHTNING  
ARRESTER TERHADAP TRANSFORMATOR DAYA 3  
X 60 MVA PADA GARDU INDUK 150/20 kV BREBES.

Dengan ini penulis menyatakan bahwa judul serta isi Tugas Akhir ini Penulis buat untuk menyelesaikan Strata Satu (S-1) Teknik Elektro, Tugas Akhir ini asli penulis buat dan belum pernah diangkat, ditulis maupun dipublikasikan oleh siapapun, baik keseluruhan maupun sebagian, kecuali secara tertulis mengacu dalam naskah ini dan disebutkan dalam daftar pustaka, apabila kemudian hari ternyata terbukti Tugas Akhir ini pernah diangkat ditulis maupun dipublikasi, maka penulis bersedia dikenakan sanksi akademis.  
Demikian penulis buat surat pernyataan ini dengan penuh kesadaran dan tanggung jawab.

Semarang, 23 Februari 2026



Riza Arif Taufani

NIM. 30601900002

## SURAT PERSETUJUAN PUBLIKASI KARYA ILMIAH

Penulis yang bertandatangan dibawah ini:

Nama : Riza Arif Taufani  
Nim : 30601900002  
Program Studi : S-1/Teknik Elektro  
Fakultas : Teknologi Industri

Dengan ini menyatakan Karya Ilmiah berupa Tugas Akhir dengan judul :  
EVALUASI PENEMPATAN JARAK AMAN LIGHTNING ARRESTER  
TERHADAP TRANSFORMATOR DAYA 3 X 60 MVA PADA GARDU INDUK  
150/20 KV BREBES. Menyetujui menjadi hak milik Universitas Islam Sultan  
Agung Semarang, serta memberikan hak bebas royalti Non-eksklusif untuk  
disimpan, dialihmediakan, dikelola dan pangkalan data dipublikasi diinternet dan  
media lain untuk kepentingan akademis selama tetap menyantumkan nama penulis  
sebagai hak pemilik hak cipta. Pernyataan penulis buat dengan sungguh-sungguh.  
Apabila dikemudian hari terbukti ada pelanggaran hak cipta atau plagiatisme dalam  
karya ilmiah ini, maka segala bentuk tuntutan hukum yang timbul akan penulis  
tanggung secara pribadi tanpa melibatkan Universitas Islam Sultan Agung  
Semarang.

Semarang, 23 Februari 2026



Riza Arif Taufani  
NIM. 30601900002

## HALAMAN PERSEMBAHAN

Puji Syukur penulis panjatkan kepada Allah SWT, yang telah memberikan kesehatan, rahmat dan hidayah, sehingga penulis masih diberikan kesempatan untuk menyelesaikan skripsi ini, sebagai salah satu syarat untuk mendapatkan gelar sarjana. Walaupun jauh dari kata sempurna, namun penulis bangga telah mencapai pada titik ini, yang pada akhirnya skripsi ini bisa selesai diwaktu yang tepat. Seorang teman seangkatan di Universitas Islam Sultan Agung Semarang pernah berkata, jika mempunyai sebuah tujuan, maka buatlah batas waktu untuk mencapai tujuan tersebut, sehingga hal inilah yang membuat penulis memacu dirinya sampai batas maksimal sehingga dapat menyelesaikan skripsi ini, diwaktu yang tepat. Skripsi atau Tugas akhir ini saya persembahkan untuk :

1. Ayah dan Ibu, M.Fauzi (Alm) dan Mu'Minah terima kasih atas doa, semangat, motivasi, pengorbanan, nasehat serta kasih sayang yang tidak pernah henti sampai saat ini.
2. Adikku Arfan MF, Salma, Rafa, Aisyah, Mumuh, Shofia, Ajma, Mahrez, Sabila, Arbi, Eriz, terimakasih telah menjadi penyemangat dalam mengerjakan tugas akhir ini.
3. Keluarga Besar Bapak Asikin (Alm) dan Ibu Taminah (Alm) , Taufik, Agus Irfan, Ida Farida, Ali Munhakim, Saeful Amri, Dian NS, Sofyan, dan semua keluarga yang tidak bisa disebutkan satu-persatu, terimakasih untuk doa, nasehat, masukan dan semangatnya selama ini.
4. Teman seangkatan Teknik Elektro 19 yang tidak bisa disebutkan satu persatu dan sudah memberikan semangat dan masukan selama proses tugas akhir ini.

Salam hangat dan penuh kasih sayang dari penulis untuk kalian semua yang telah memberikan dukungan kepada penulis.

## HALAMAN MOTTO

“ Sesungguhnya Allah SWT tidak akan merubah keadaan suatu kaum, sebelum mereka mengubah keadaan diri mereka sendiri.“ – ( QS Ar Rad 11 ) –

مَنْ جَدَّ وَجَدَ

“ Janganlah berputus asa dari rahmat Allah," (QS. Az-Zumar [39]: 53).

“ Kesuksesan tidak diukur dari seberapa sering anda jatuh, tetapi seberapa sering anda bangkit kembali untuk mencapai pada titik kesuksesan.“ -**Vince Lombardi** –

“ Saya tidak mengukur kesuksesan seseorang dari seberapa tinggi ia memanjat, tetapi seberapa tinggi ia memantul ketika ia mencapai titik terendah." - **George S. Patton-**



## KATA PENGANTAR

*Bismillahirrahmanirrahim*

*Assalamu'alaikum Warahmatullahi Wabarakatuh,*

Dengan segala puji syukur Alhamdulillah, penulis panjatkan kehadirat tuhan YME Allah SWT, karena berkat rahmat dan karunia-nya penulis diberikan kesehatan jasmani dan rohani sehingga penulis bisa menyelesaikan laporan tugas akhir ini dengan judul **“Evaluasi Penempatan Jarak Aman *Lightning Arrester* Terhadap Trafo daya 3x60 MVA Pada Gardu Induk 150/20 KV Brebes”**. Tugas Akhir ini ditulis dalam rangka memenuhi syarat untuk mencapai gelar sarjana pada Fakultas Teknologi Industri program Studi (S-1) Teknik Elektro Universitas Islam Sultan Agung Semarang.

Dalam penyelesaian tugas akhir ini, penulis banyak memperoleh bantuan baik pengajaran, bimbingan dan arahan dari berbagai pihak baik secara langsung maupun tidak langsung. Untuk itu penulis menyampaikan penghargaan dan banyak terima kasih yang tak terhingga kepada :

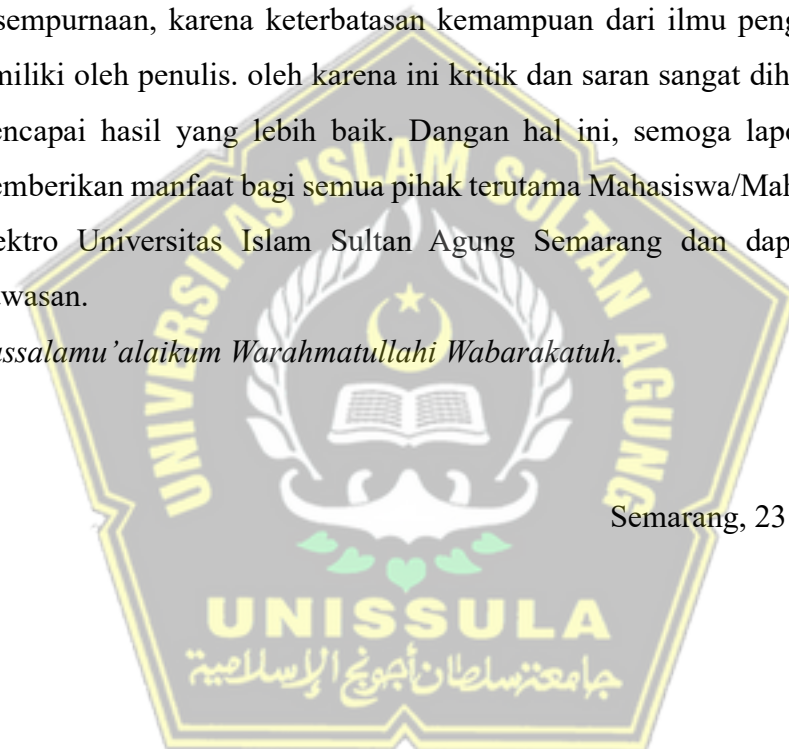
1. Allah SWT, yang telah memberikan rahmat dan ridhonya serta memberikan ketabahan, kesabaran dan kelapangan hati serta pikiran dalam menuntut ilmu.
2. Orang tua, yakni Ibu Mu'minah yang selalu mensupport penulis dalam menyelesaikan laporan tugas akhir ini dan selalu mendo'akannya.
3. Bapak Muhammad Qomaruddin, S.T., M.Sc., Ph.D Selaku Dekan Fakultas Teknologi Industri Universitas Islam Sultan Agung Semarang.
4. Bapak Munaf Ismail, S.T.,M.T. Selaku ketua prodi di Jurusan Teknik elektro dan Koordinator tugas akhir Fakultas Teknologi Industri Universitas Islam Sultan Agung Semarang.
5. Prof. Dr. Hj. Sri Arrtini Dwi Prasetyowati, M.Si. Selaku wali dosen penulis Teknik Elektro 2019.
6. Dosen Pembimbing Prof. Dr. Ir. H. Muhamad Haddin M.T yang sudah membimbing serta memberi masukan dan saran selama ini, sehingga saya dapat menyelesaikan skripsi ini.

7. 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.
8. Teman Teknik Elektro angkatan 2019 senantiasa memberikan dukungan, semangat, dan doa.
9. Semua pihak yang tidak dapat penulis sebutkan satu per satu atas segala dukungan, semangat, ilmu dalam menyelesaikan tugas akhir ini.

Penulis menyadari bahwa di dalam penyusunan laporan ini masih jauh dari kesempurnaan, karena keterbatasan kemampuan dari ilmu pengetahuan yang dimiliki oleh penulis. Oleh karena ini kritik dan saran sangat diharapkan untuk mencapai hasil yang lebih baik. Dengan hal ini, semoga laporan ini dapat memberikan manfaat bagi semua pihak terutama Mahasiswa/Mahasiswi Teknik Elektro Universitas Islam Sultan Agung Semarang dan dapat menambah wawasan.

*Wassalamu'alaikum Warahmatullahi Wabarakatuh.*

Semarang, 23 Februari 2026



Riza Arif Taufani

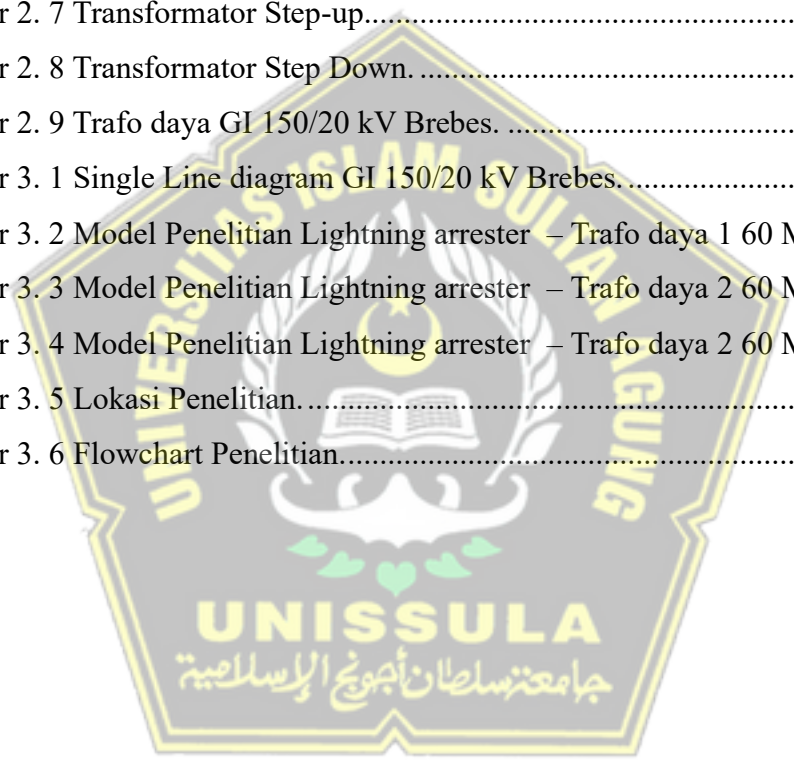
## DAFTAR ISI

<b>LAPORAN TUGAS AKHIR</b> .....	i
<b>FINAL PROJECT</b> .....	ii
<b>LEMBAR PENGESAHAN PEMBIMBING</b> .....	iii
<b>LEMBAR PENGESAHAN PENGUJI</b> .....	iv
<b>SURAT PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR</b> .....	v
<b>SURAT PERSETUJUAN PUBLIKASI KARYA ILMIAH</b> .....	vi
<b>HALAMAN PERSEMBAHAN</b> .....	vii
<b>HALAMAN MOTTO</b> .....	viii
<b>KATA PENGANTAR</b> .....	ix
<b>DAFTAR ISI</b> .....	xi
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	xiii
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	xiv
<b>ABSTRAK</b> .....	xv
<b>ABSTRACT</b> .....	xvi
<b>BAB I PENDAHULUAN</b> .....	1
1.1. Latar Belakang.....	1
1.2. Rumusan Masalah.....	2
1.3. Batasan Masalah.....	2
1.4. Tujuan.....	3
1.5. Manfaat.....	3
1.6. Sistematikan Penulisan.....	3
<b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI</b> .....	5
2.1. Tinjauan Pustaka.....	5
2.2. Dasar teori.....	6
2.2.1. Lightning Arrester.....	6
2.2.2. Tegangan Impuls.....	14
2.2.3. Perhitungan Jarak Maksimum .....	16

2.2.4. Koordinasi Isolasi .....	19
2.2.5. Tegangan Pengenal <i>Lightning Arrester</i> .....	19
2.2.6. Arus Pelepasan <i>Arrester</i> .....	20
2.2.7. Transformator .....	21
2.2.8. Surja Hubung ( <i>switching Surge</i> ).....	24
2.2.9. Standarisasi Jarak Aman.....	24
<b>BAB III METODE PENELITIAN</b> .....	<b>26</b>
3.1. Model Penelitian .....	26
3.2. Model Penempatan <i>Arrester</i> .....	27
3.3. Lokasi Penelitian.....	28
3.4. Peralatan Yang Digunakan .....	29
3.5. Metode Penelitian.....	29
3.6. Tahapan Penelitian .....	29
3.7. Flowchart Penelitian.....	30
<b>BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN</b> .....	<b>29</b>
4.1. Hasil .....	29
4.1.1. Perhitungan Tegangan Pengenal <i>Arrester</i> .....	29
4.1.2. Perhitungan Arus Pelepasan <i>Arrester</i> .....	30
4.1.3. Koordinasi isolasi terhadap GI 150/20 kV.....	31
4.1.4. Menentukan jarak aman <i>Lightning arrester</i> – trafo daya 60 MVA .....	31
4.2. Pembahasan.....	32
<b>BAB V KESIMPULAN DAN SARAN</b> .....	<b>34</b>
5.1. Kesimpulan .....	34
5.1. Saran.....	34
<b>DAFTAR PUSTAKA</b> .....	<b>36</b>
<b>LAMPIRAN</b> .....	<b>38</b>

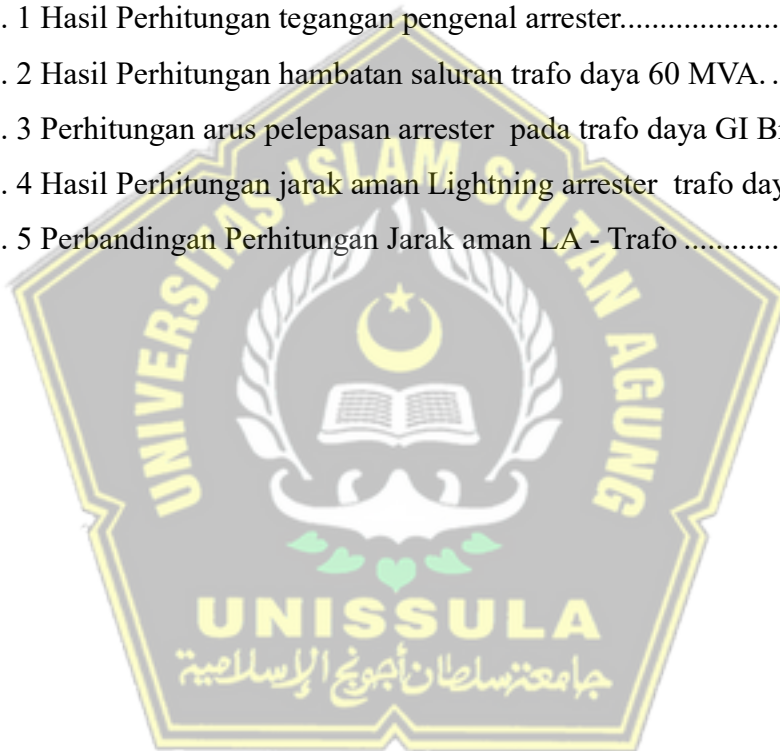
## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Penangkal Petir.....	7
Gambar 2. 2 Lightning Arrester pada GI 150 kV Brebes. ....	8
Gambar 2. 3 Karakteristik Tahanan Katup.....	9
Gambar 2. 4 Karakteristik Arus Tegangan.....	11
Gambar 2. 5 Bentuk Gelombang Impuls.....	15
Gambar 2. 6 Skema Jarak Trafo dan Penangkal dengan Jarak S. ....	17
Gambar 2. 7 Transformator Step-up.....	22
Gambar 2. 8 Transformator Step Down. ....	22
Gambar 2. 9 Trafo daya GI 150/20 kV Brebes. ....	23
Gambar 3. 1 Single Line diagram GI 150/20 kV Brebes. ....	26
Gambar 3. 2 Model Penelitian Lightning arrester – Trafo daya 1 60 MVA.....	27
Gambar 3. 3 Model Penelitian Lightning arrester – Trafo daya 2 60 MVA.....	27
Gambar 3. 4 Model Penelitian Lightning arrester – Trafo daya 2 60 MVA.....	28
Gambar 3. 5 Lokasi Penelitian.....	28
Gambar 3. 6 Flowchart Penelitian.....	30



## DAFTAR TABEL

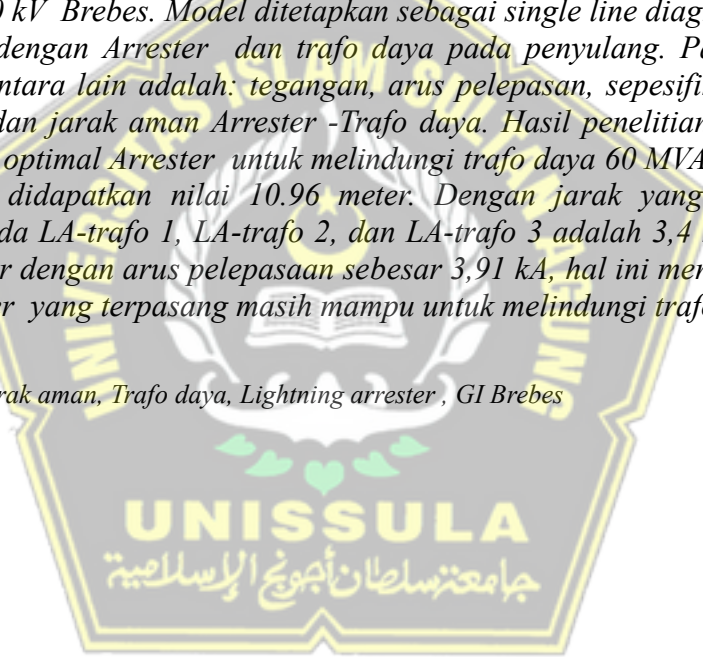
Tabel 2. 1 Perbandingan BIL dengan Tegangan Sistem.....	12
Tabel 2. 2 Data spesifikasi LA pada Trafo 1 GI 150/20 kV Brebes.....	14
Tabel 2. 3 Data spesifikasi LA pada Trafo 2 pada GI 150/20 kV Brebes. ....	14
Tabel 2. 4 Spesifikasi LA pada Trafo 3 pada GI 150/20 kV Brebes. ....	14
Tabel 2. 5 Spesifikasi Trafo daya pada GI 150/20 kV Brebes. ....	24
Tabel 3. 1 Data Nilai Harga Maksimum Tegangan Lebih Gelombang Petir.....	31
Tabel 4. 1 Hasil Perhitungan tegangan pengenal arrester.....	29
Tabel 4. 2 Hasil Perhitungan hambatan saluran trafo daya 60 MVA. ....	30
Tabel 4. 3 Perhitungan arus pelepasan arrester pada trafo daya GI Brebes. ....	31
Tabel 4. 4 Hasil Perhitungan jarak aman Lightning arrester trafo daya.....	32
Tabel 4. 5 Perbandingan Perhitungan Jarak aman LA - Trafo .....	33



## ABSTRAK

Setiap sistem tenaga listrik perlu dilindungi dari sambaran petir, Arrester digunakan untuk mencegah terjadinya kerusakan pada sistem tenaga listrik dalam melindungi peralatan utama gardu induk 150/20 kV Brebes utamanya adalah trafo daya. Permasalahan yang timbul adalah apakah sudah sesuai standar jarak aman LA-trafo daya 60 MVA. Hal ini diperlukan karena vitalnya fungsi Arrester sebagai pengamanan trafo daya. Akibat yang ditimbulkan dari jarak yang tidak sesuai antara trafo dengan Arrester adalah fungsi Arrester sebagai system proteksi trafo daya dari sambaran petir bekerja tidak optimal hal ini dapat membuat gangguan pada sistem tenaga listrik gardu induk dan fatal nya dapat membuat terbakarnya trafo daya akibat sambaran petir. Solusinya adalah evaluasi kembali jarak aman arrester-trafo daya sesuai dengan standar IEC 60099-4. Penelitian ini membahas tentang Evaluasi Penentuan Jarak Aman Arrester Dengan Trafo daya 60 MVA Pada Gardu Induk 150/20 kV Brebes. Model ditetapkan sebagai single line diagram GI 150/20 kV lengkap dengan Arrester dan trafo daya pada penyulang. Parameter yang ditentukan antara lain adalah: tegangan, arus pelepasan, spesifikasi Arrester -trafo daya, dan jarak aman Arrester -Trafo daya. Hasil penelitian menunjukkan bahwa jarak optimal Arrester untuk melindungi trafo daya 60 MVA menurut hasil perhitungan didapatkan nilai 10.96 meter. Dengan jarak yang terpasang di lapangan pada LA-trafo 1, LA-trafo 2, dan LA-trafo 3 adalah 3,4 meter, 4 meter, dan 3,8 meter dengan arus pelepasan sebesar 3,91 kA, hal ini menunjukan bahwa jarak Arrester yang terpasang masih mampu untuk melindungi trafo daya.

**Kata kunci:** Jarak aman, Trafo daya, Lightning arrester, GI Brebes



## ABSTRACT

Every electric power system needs to be protected from lightning strikes, Arrester is used to prevent damage to the electric power system in protecting the main equipment of the 150/20 kV Brebes substation, mainly the power transformer. The problem that arises is whether it is in accordance with the safe distance standard for LA-60 MVA power transformer. This is necessary because the Arrester's function is vital as a power transformer safety. The consequence of an inappropriate distance between the transformer and the Arrester is that the Arrester's function as a power transformer protection system from lightning strikes does not work optimally. This can cause interference to the substation's electric power system and can fatally cause the power transformer to burn due to lightning strikes. The solution is to re-evaluate the safe distance of the arrester - power transformer according to the IEC 60099-4 standart. This study discusses the Evaluation of Determining the Safe Distance of Arrester with a 60 MVA Power Transformer at the 150/20 kV Brebes Substation. The model is defined as a single line diagram of a 150/20 kV GI complete with Arresters and power transformers on the feeder. The parameters determined include: voltage, discharge current, Arrester-power transformer specifications, and Arrester-power transformer safe distance. The results of the study indicate that the optimal distance of the Arrester to protect a 60 MVA power transformer according to the calculation results is 10.96 meters. With the distance installed in the field on LA-transformer 1, LA-transformer 2, and LA-transformer 3 being 3.4 meters, 4 meters, and 3.8 meters with a discharge current of 3.91 kA, this indicates that the distance of the Arrester installed is still able to protect the power transformer.

**Keywords:** Safety distance, Power transformer, Lightning arrester , GI Brebes

# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1. Latar Belakang

Gardu induk (GI) 150/20 kV Brebes merupakan unit yang menjalankan peralatan-peralatan tegangan tinggi pada *switchyard*, terdapat peralatan utama tenaga listrik yang berperan penting dalam proses menyalurkan tenaga listrik, seperti trafo daya, pemutus tegangan (PMT), pemisah tenaga (PMS). GI 150/20 kV Brebes didirikan pada 09 September 1996 dengan luas bangunan 100 × 200 meter persegi yang di Desa Karanganyar. Kecamatan Wanasari, Kabupaten Brebes, Jawa Tengah 52252. Dan mempunyai 8 Bay seperti Bay Kebasen 1 dan Kebasen 2, Bay Cep 1 dan Cep 2, Bay Kopel 1, dan 3 Bay Trafo dengan masing – masing kapasitas 60 MVA [1].

Gangguan listrik pada gardu induk dapat disebabkan oleh faktor internal an faktor eksternal. Faktor internal dapat berupa kurang baiknya peralatan-peralatan itu sendiri, sedangkan faktor eksternal berupa kesalahan manusia dan dapat juga karena alam seperti petir, gempa, banjir, angin dan lain-lain. Untuk meminimalisir kerusakan akibat sambaran petir pada peralatan listrik, *lightning arrester* berperan sebagai arrester petir, dengan mengalirkan arus petir ke tanah dan menjauhkan dari peralatan listrik yang rentan. *Arrester* membentuk jalan yang mudah dilalui oleh arus kilat atau petir, sehingga tidak timbul tegangan lebih yang tinggi pada peralatan [2].

Permasalahan yang terjadi adalah bagaimana posisi penempatan jarak *lightning arrester* terhadap trafo daya yang menjadi penyebab terjadinya gangguan dalam penyaluran tegangan listrik menuju transformator, sehingga mengakibatkan gangguan pasokan listrik yang luas terhadap konsumen. Penempatan yang optimal dari *lightning arrester* (LA) harus mempertimbangkan kondisi lingkungan sekitar, sehingga tidak hanya melindungi trafo dari sambaran petir, tetapi juga meminimalkan potensi gangguan dan kerusakan pada peralatan lain di dalam gardu induk.

Solusi dari permasalahan tersebut adalah diperlukan evaluasi penentuan penempatan jarak aman yang optimal antara *lightning Arrester* terhadap trafo daya pada GI 150/20 kV sesuai dengan standar IEC 60099-4 agar dapat meningkatkan perlindungan terhadap lonjakan tegangan dan mengurangi risiko kerusakan pada peralatan.

Berdasarkan latar belakang tersebut dengan judul Evaluasi Penempatan Jarak Aman *Lightning Arrester* Terhadap Trafo daya  $3 \times 60$  MVA GI 150/20 kV Brebes. Untuk menentukan jarak maksimum yang diizinkan antara *lightning arrester* dan peralatan yang dilindungi. Metode yang digunakan salah satunya adalah dengan metode pendekatan yang digunakan untuk menentukan jarak maksimum *lightning arrester* dan peralatan. Peralatan trafo dan *lightning arrester* yang penempatannya mempunyai jarak tertentu.

### 1.2. Rumusan Masalah

Berdasarkan uraian latar belakang di atas, maka dapat di ambil rumusan masalah yang harus diselesaikan oleh penulis sebagai tugas akhir ini antara lain:

- a. Bagaimana menentukan jarak *lightning arrester* terhadap trafo daya yang terpasang pada GI 150/20 kV Brebes?
- b. Berapa besar perbandingan jarak *lightning arrester* terhadap trafo daya yang terpasang pada GI 150/20 kV Brebes dengan menggunakan perhitungan dan jarak eksisting?

### 1.3. Batasan Masalah

Penulisan tugas akhir ini, penulis membatasi permasalahan yang terjadi sehingga tidak keluar dari pokok permasalahan. Adapun batasan-batasan permasalahannya antara lain:

- a. Penelitian ini hanya membahas tentang jarak aman *lightning arrester* terhadap trafo daya GI 150/20 kV Brebes.
- b. Data yang digunakan yaitu data *lightning arrester* dan data trafo untuk membandingkan hasil perhitungan dan peralatan yang terpasang pada GI 150/20 kV Brebes.

- c. Pada penelitian ini tidak membahas secara keseluruhan tentang terjadinya petir yang terjadi.
- d. Trafo daya pada GI 150/20 kV Brebes berjumlah 3 unit dengan kapasitas 60 MVA.

#### 1.4. Tujuan

Tujuan dari penulisan laporan tugas akhir ini antara lain:

- a. Untuk mengetahui jarak aman *lightning arrester* terhadap trafo daya yang terpasang pada GI 150/20 kV Brebes sesuai dengan standar.
- b. Untuk mengetahui kemampuan *lightning arrester* dalam melindungi peralatan trafo daya akibat surja petir.
- c. Mengevaluasi ulang jarak aman dari pemasangan *lightning arrester* yang terpasang pada GI 150/20 kV Brebes dan membandingkan dengan hasil perhitungan yang didapat sehingga trafo daya aman dari gangguan surja petir.

#### 1.5. Manfaat

Manfaat dari penulisan tugas akhir ini ada beberapa yang dapat diperoleh dari hasil penelitian yang sudah dibuat antara lain :

- a. Untuk menambah wawasan dan ilmu pengetahuan dalam sistem proteksi pada gardu induk 150/20 kV Brebes dalam menentukan batas jarak aman *lightning arrester* terhadap trafo daya.
- b. Sebagai acuan referensi untuk menentukan jarak aman dalam pemasangan peralatan sistem proteksi dari gangguan surja petir.
- c. Untuk mengetahui pemeliharaan peralatan sistem proteksi dari gangguan yang terjadi.

#### 1.6. Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan laporan penelitian ini dapat digunakan untuk memperjelas pemahaman terhadap materi yang dijadikan objek penelitian ini. Adapun sistematika penulisan tugas akhir ini antara lain :

**BAB I : PENDAHULUAN**

Berisi latar belakang penulisan penelitian, tujuan serta gambaran secara umum tentang masalah yang akan dibahas dalam penelitian ini.

**BAB II : TINJAUAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI**

Berisi tentang beberapa landasan teori tentang penelitian yang sudah dilakukan, dan teori – teori mengenai peralatan yang terkait dengan penyusunan penelitian ini.

**BAB III : METODE PENELITIAN**

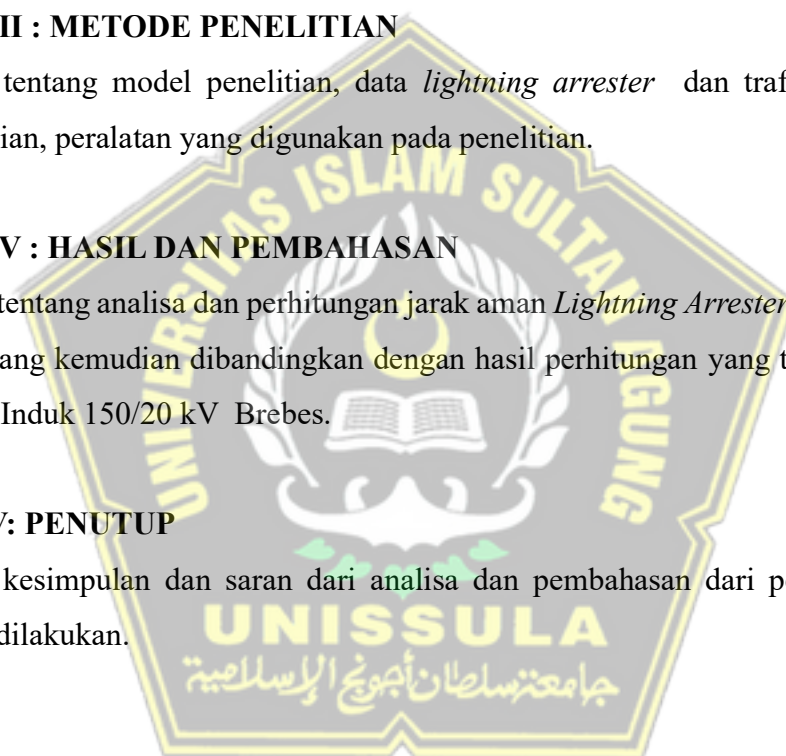
Berisi tentang model penelitian, data *lightning arrester* dan trafo daya, objek penelitian, peralatan yang digunakan pada penelitian.

**BAB IV : HASIL DAN PEMBAHASAN**

Berisi tentang analisa dan perhitungan jarak aman *Lightning Arrester* dengan Trafo daya yang kemudian dibandingkan dengan hasil perhitungan yang terpasang pada Gardu Induk 150/20 kV Brebes.

**BAB V: PENUTUP**

Berisi kesimpulan dan saran dari analisa dan pembahasan dari penelitian yang sudah dilakukan.



## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI

#### 2.1. Tinjauan Pustaka

Beberapa penelitian terdahulu tentang jarak aman, merujuk pada beberapa referensi dari jurnal yang digunakan penulis sebagai landasan penelitian yang dijadikan sebagai pembanding dari penelitian sebelumnya antara lain:

1. Jarak Penempatan *Lightning Arrester* Sebagai Pelindung Trafo Terhadap Tegangan Lebih Pada Gardu Induk 150/20 kV Harapan Baru. Hasil yang didapat adalah bahwa jarak maksimum antara Arrester dan trafo adalah 10,96 meter, sedangkan jarak pemasangan di lapangan adalah 3,2 meter, sehingga Arrester masih dapat melindungi trafo karena masih lebih rendah dari jarak maksimum. Diizinkan. Setelah Arrester menyala 9,54  $\mu$ s, tegangan pada trafo akan turun. Dan karena BIL trafo adalah 650 KV dan tegangan puncaknya mencapai 751,3 kV pada 300  $\mu$ s, maka Arrester masih dapat melindungi trafo [3].
2. Kajian Pemasangan *Lightning Arrester* Pada Sisi HV Trafo daya Unit Satu Gardu Induk Teluk Betung. Penelitian ini membahas tentang sistem proteksi trafo daya (60 MVA) pada gardu induk Teluk Betung agar trafo daya tersebut aman dari tegangan lebih yang disebabkan oleh surja petir. Jarak maksimum antara arrester dan trafo daya yang diperbolehkan adalah 28,5 meter. Jarak dilapangan adalah 3 meter, tegangan yang tiba pada trafo daya adalah 480 kV dan masih dibawah nilai tingkat isolasi dasar trafo, sehingga perlindungan trafo daya terhadap surja petir sudah sangat baik. tetapi kendalanya dalam proses pemeliharaan arrester ataupun trafo daya, akan kesulitan karena terlalu berdampingan [4].
3. Analisis Jarak Penempatan *Arrester* Sebagai Pengaman Trafo daya Dari Gangguan Surja Petir. Hasil perhitungan parameter tinggi tower transmisi didapatkan hasil sebesar 41,9 meter. Hasil perhitungan karakteristik arrester didapatkan nilai tegangan maksimum ( $V_m$ ) sebesar 165kV, tegangan pengenalan ( $E_a$ ) sebesar 500kV, faktor perlindungan ( $V_p$ ) sebesar 160kV, margin (M)

sebesar 490kV, faktor perlindungan dari TID peralatan ( $F_p$ ) sebesar 73,3%, faktor perlindungan dari tingkat perlindungan arrester ( $F_p$ ) sebesar 306,2%, arus pelepasan ( $I_a$ ) sebesar 16,5kA dan jarak optimal penempatan arrester ( $S$ ) sebesar 22,5 meter [5].

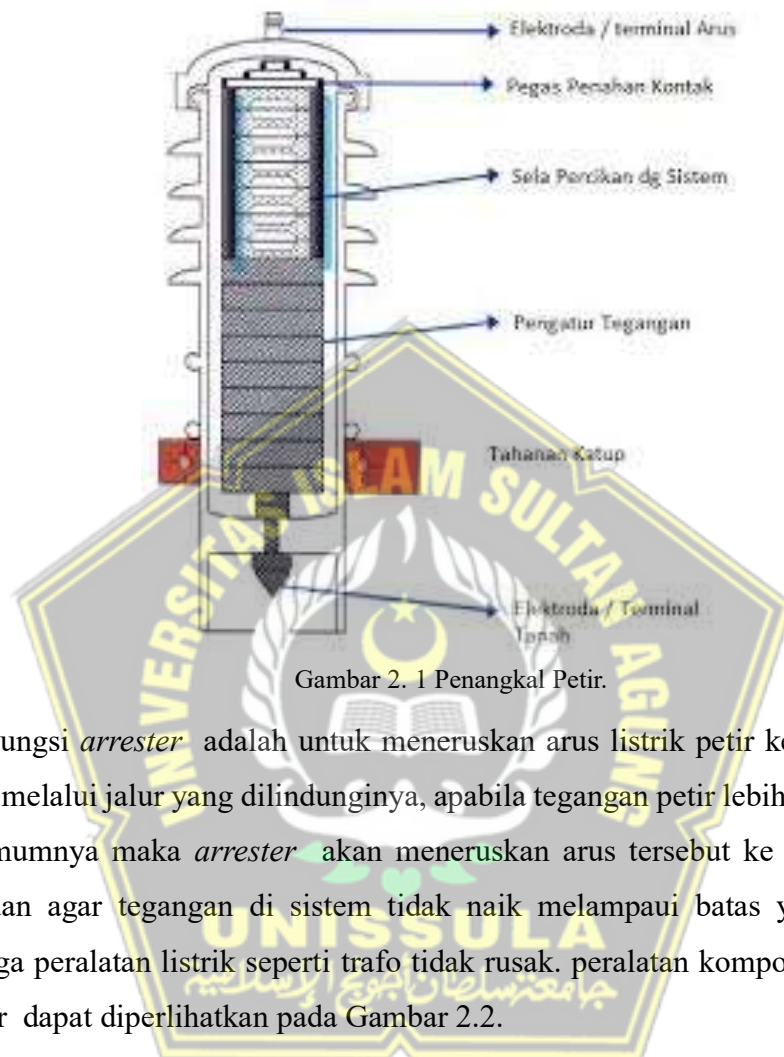
4. Studi Kemampuan Arrester Untuk Pengaman Trafo Pada Gardu Induk Tanjung Morawa 150/20 kV. Hasil yang diperoleh dari penelitian ini jarak maksimum Trafo dengan Arrester adalah 10,96 meter, Sedangkan jarak Trafo dengan Arrester yang terpasang pada Gardu Induk TAMORA adalah 3 meter. Dalam pemasangannya masih dibawah jarak maksimum sehingga dikatakan masih baik [6].
5. Analisis Pemanfaatan Lightning Arrester Untuk Pengaman Trafo Pada Gardu Induk Bolangi. Penelitian ini fokus pada peralatan Gardu Induk yaitu Arrester tipe X AR 170 A1/ 162 yang terhubung dengan trafo (trafo) II tipe DRF 31.5/ 275. Jarak Arrester dengan trafo yang dipakai di gardu Induk bolangi 150/20 kV adalah 3 m. Penempatan Arrester ( $S$ ) dipengaruhi oleh tegangan jepit trafo ( $E_p$ ) sebesar 715 KV, tegangan percik Arrester ( $E_a$ ) sebesar 650 KV, kecuraman gelombang datang ( $A$ ) sebesar 1000 dv/ dt, dan kecepatan rambat gelombang ( $V$ ), karena gelombang berjalan pada kawat udara mempunyai kecepatan tetap dengan kecepatan sama dengan kecepatan cahaya yaitu 300 m/ $\mu$ dt [7].

## 2.2. Dasar teori

### 2.2.1. Lightning Arrester

*Lightning arrester* (LA) merupakan suatu alat pelindung bagi peralatan sistem tenaga listrik terhadap surja petir (*surge*). Alat pelindung terhadap gangguan surja petir ini berfungsi untuk melindungi peralatan system tenaga listrik dengan cara membatasi surja tegangan lebih yang datang dan mengalirkannya ke tanah. *Arrester* membentuk jalan yang mudah dilalui oleh arus kilat atau petir, sehingga tidak timbul tegangan lebih yang nilainya tinggi pada peralatan. Selain melindungi peralatan dari tegangan lebih yang diakibatkan oleh tegangan lebih eksternal, arrester juga melindungi peralatan dari tegangan lebih yang diakibatkan oleh tegangan lebih internal seperti surja hubung. Selain

itu *arrester* juga merupakan kunci dalam koordinasi isolasi suatu sistem tenaga listrik yang ditunjukkan pada Gambar 2.1.



Gambar 2. 1 Penangkal Petir.

Fungsi *arrester* adalah untuk meneruskan arus listrik petir ke ground yang masuk melalui jalur yang dilindunginya, apabila tegangan petir lebih dari kapasitas maksimumnya maka *arrester* akan meneruskan arus tersebut ke tanah. Hal ini bertujuan agar tegangan di sistem tidak naik melampaui batas yang diijinkan sehingga peralatan listrik seperti trafo tidak rusak. peralatan komponen Lightning arrester dapat diperlihatkan pada Gambar 2.2.



Gambar 2. 2 Lightning Arrester pada GI 150 kV Brebes.

Prinsip kerjanya adalah dalam keadaan normal *arrester* bekerja sebagai isolator dan pada saat terjadi tegangan surja petir, *arrester* bersifat konduktor yang tahanannya relatif rendah sehingga dapat mengalirkan arus yang tinggi ke tanah. Ada beberapa bagian yang terdapat pada penampang *arrester* antara lain :

a. Elektroda

Elektroda merupakan terminal dari *arrester* yang dihubungkan dengan bagian yang bertegangan dibagian atas dan elektroda bawah dihubungkan dengan tanah.

b. Sela Percikan

Apabila terjadi tegangan lebih yang diakibatkan oleh sambaran petir atau surja hubung pada *arrester* yang terpasang, maka pada sela percikan (*spark gap*) akan terjadi loncatan busur api dan ditiup keluar oleh tekanan gas yang di timbulkan oleh tabung fiber yang terbakar.

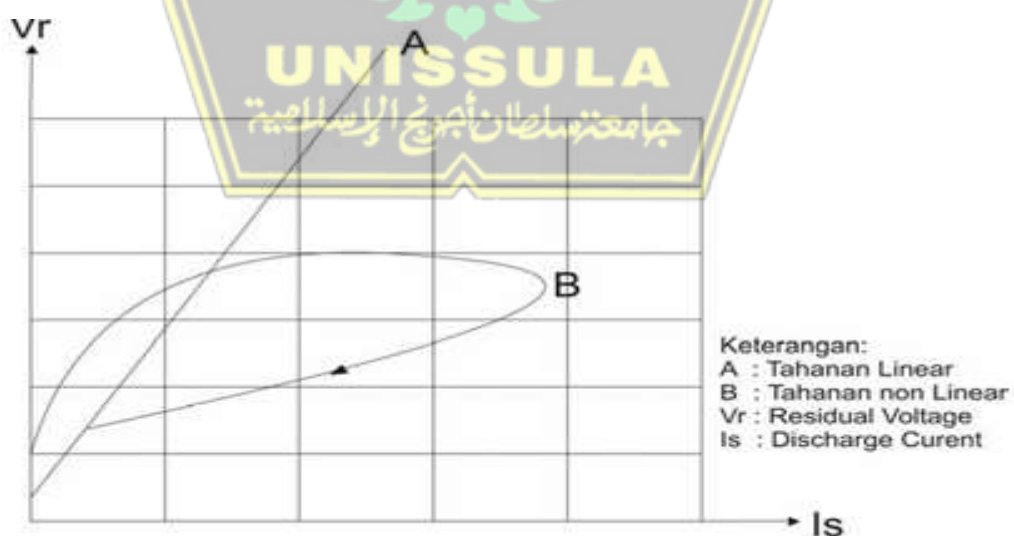
c. Tahanan Katup

Tahanan yang digunakan dalam *arrester* yaitu jenis material yang sifat tahanannya dapat berubah ketika mendapatkan perubahan tegangan.

*Arrester* bekerja pada tegangan tertentu diatas tegangan operasi untuk membuang muatan listrik dari surja petir dan akan berhenti pada tegangan tertentu. Ada beberapa unsur yang terdapat pada *Arrester* antara lain :

- a. Sela api (*spark gap*)
- b. Tahanan tak linier (tahanan kran/*valve resistor*)

Batas atas dan batas bawah dari tegangan percikan ditentukan oleh tegangan sistem maksimum dan oleh tingkat isolasi peralatan yang dilindungi. Apabila *Arrester* digunakan hanya melindungi isolasi terhadap bahaya kerusakan karena gangguan dengan tidak memperdulikan akibatnya terhadap pelayanan, maka cukup dipakai sela batang yang memungkinkan terjadinya percikan pada waktu teganga mencapai keadaan bahaya. Tegangan sistem bolak-balik akan tetap mempertahankan busur api sampai pemutus bebannya dibuka. Dengan menyambung sela api ini dengan sebuah tahanan, maka mungkin apinya dapat dipadamkan. Jika tahanannya mempunyai sebuah harga tetap, maka jatuh tegangannya menjadi besar sekali sehingga maksud melindungi isolasipun gagal. Oleh sebab itu, dipakailah tahanan kran, yang mempunyai sifat khusus bahwa tahanannya kecil sekali bila tegangannya dan arusnya besar yang ditunjukkan pada Gambar 2.3.



Gambar 2. 3 Karakteristik Tahanan Katup.

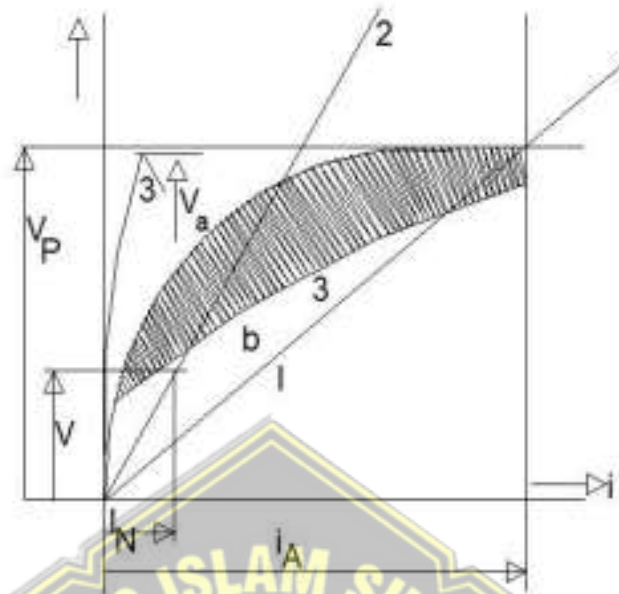
Bila tegangan lebih habis dan tegangan normal tinggal, tahanannya naik lagi sehingga arus susulannya dibatasi sampai kira-kira 50 ampere. Arus susulan ini

akhirnya dimatikan oleh sela api pada waktu tegangan sistemnya mencapai titik nol yang pertama sehingga alat ini bertindak sebagai sebuah kran yang menutup arus, oleh karena itu, maka disebut tahanan kran. Arus susulan tidak selalu terjadi tiap kali Arrester bekerja, ada tidaknya tergantung dari saat terjadinya tegangan lebih, hal ini disebabkan karena arus susulan tersebut dipadamkan pada arus nol yang pertama.

*Lightning Arrester* yang ideal memiliki karakteristik adalah:

- a. Arrester mempunyai karakteristik yang dibatasi oleh tegangan (*voltage limiting*) apabila dilalui beberapa jenis arus petir. Karakteristik pembatas tegangan merupakan harga tegangan pada terminal yang mampu ditahan oleh Arrester pada waktu menyalurkan arus tertentu (harga ini berubah dengan besarnya arus).
- b. Arrester mempunyai batasan termis, yaitu kemampuan melewati arus sambaran petir dalam durasi yang lama dan berulang-ulang.
- c. Pada jenis Arrester ini bekerja berdasarkan tahanan tidak linier, maksudnya ketika Arrester bekerja tahanan tidak linier ini akan turun nilainya sehingga Arrester berubah menjadi konduktor sedangkan ketika tegangan sistem kembali normal tahanan tidak linier Arrester bernilai besar sehingga Arrester bersifat isolator dan dapat bekerja seperti semula setelah terjadinya pemutusan arus susulan.
- d. Arrester harus mampu melepaskan tegangan lebih melalui aliran arus surja ke tanah tanpa merusak Arrester itu sendiri dan harus memiliki harga tahanan di bawah 5 ohm.

Gelombang berjalan yang datang pada sebuah trafo, arus pelepasan dalam Arrester ditentukan oleh tegangan maksimum yang di teruskan oleh kawat (isolasinya), oleh impedansi surja daripada kawat, dan oleh karakteristik dari arrester diperlihatkan pada Gambar 2.4.



Gambar 2. 4 Karakteristik Arus Tegangan.

Keterangan:

$I_a$  = Arus Surja

$I_n$  = Arus Susulan

$V$  = Tegangan Dasar

$V$  = Tegangan Gagal Sela

$V_p$  = Tegangan Sisa

$a$  = Arus Mekanik

$b$  = Arus Menurun

1,2 = Tahanan Linier

3 = Tahanan Tak Linier

Arus pelepasan Arrester dapat ditunjukkan pada persamaan (2.1).

$$I_a = \frac{2v - v_a}{z} \dots\dots\dots(2.1)$$

dengan:  $I_a$  = Arus pelepasan arrester (A)

$V$  = Tegangan surja yang datang (V)

$V_a$  = Tegangan terminal (V)

$Z$  = Impedansi surja kawat transmisi ( $\Omega$ )

Tegangan kerja penangkap petir akan naik dengan naiknya arus pelepasan, tetapi kenaikan ini sangat dibatasi oleh tahanan linear dari penangkap petir. Tegangan kerja ditunjukkan pada persamaan (2.2).

$$V_a = V_t - 2 \frac{dV}{dt} \cdot \frac{L}{1000} \dots \dots \dots (2.2)$$

dengan:  $V_a$  = Tegangan pelepasan *arrester* (kV)

$V_t$  = Tegangan maksimum (kV)

$\frac{dV}{dt}$  = Kecuraman gelombang (kV/s)

$L$  = Jarak *arrester* dengan ujung kawat (ft)

BIL (*Basic Insulation Level*) merupakan tingkat kemampuan isolasi trafo dalam menahan tegangan lebih impuls akibat sambara petir tanpa mengalami tembus isolasi. Nilai BIL ditentukan dalam kilovolt (kV) dan ditentukan berdasarkan pengujian tegangan impuls petir dengan bentuk gelombang standar 1,2/50  $\mu$ s sesuai dengan standar internasional. BIL digunakan sebagai parameter utama dalam perancangan dan evaluasi sistem isolasi transformator serta menjadi dasar dalam koordinasi isolasi dengan peralatan proteksi khususnya lightning arrester. Oleh karena itu, penentuan BIL yang tepat serta penempatan lightning arrester yang sesuai sangat berpengaruh terhadap keandalan dan keselamatan operasi sistem tenaga listrik [8], seperti ditunjukkan pada Tabel 2.1.

Tabel 2. 1 Perbandingan BIL dengan Tegangan Sistem.

Tegangan Sistem	BIL Trafo
20 kV	125 kV
75 kV	325 kV
150 kV	650 kV
275 kV	1050 kV
500 kV	1550 kV

Keandalan perlindungan peralatan maka semua peralatan yang terletak diluar daerah lindung Arrester harus diberikan tingkal isolasi dasar (TID) yang satu tingkat lebih tinggi dari Trafo daya. Untuk menghitung margin perlindungan dapat dihitung dengan rumus persamaan (2.3).

$$MP = \left( \frac{BIL}{KIA} - 1 \right) \times 100\% \dots \dots \dots (2.3)$$

dengan:  $MP$  = Margin perlindungan (%)

$KIA$  = Tegangan pelepasan maksimum arrester (V)

$BIL$  = Tingkat isolasi dasar (V)

Nilai puncak surja petir yang masuk ke pembangkit datang dari saluran yang dibatasi oleh TID saluran. Dengan mengiingat variasi tegangan *flasover* dan probabilitas tembus isolator, maka 20% untuk faktor keamanannya, sehingga harga Faktor Perlindungan (FP). Adapun kriteria yang harus dipenuhi dalam margin perlindungan adalah besar margin perlindungan yang diberikan arrester minimal 20%. Penempatan *arrester* yang baik adalah menempatkan *arrester* sedekat mungkin dengan peralatan yang dilindungi. Jarak Arrester dengan peralatan yang dilindungi digunakan persamaan (2.4).

$$E_p = E_a + 2 A S/v \dots \dots \dots (2.4)$$

dengan:  $E_a$  = Tegangan percik *arrester* (V)

$E_p$  = Tegangan pada jepitan trafo (V)

$A$  = Kecuraman gelombang datang dan dianggap konstan

$S$  = Jarak antara *arrester* dengan Trafo (m)

$V$  = Kecepatan rambat gelombang (m/s)

Penelitian ini menggunakan ada 3 jenis lightning arrester yang menjadi objek penelitian, seperti ditunjukkan pada Tabel 2.2 sampai dengan 2.4.

Tabel 2. 2 Data spesifikasi LA pada Trafo 1 GI 150/20 kV Brebes.

Parameter	Spesifikasi	Parameter	Spesifikasi
Merk	ABB AB	Made In	Germany
Type	-	Uc	100 kV
Ur	144kV	Pr-C1	-
In	20 kV	Date	2010
E <sub>a</sub>	-	A	1000 <sup>dv/dt</sup>

Tabel 2. 3 Data spesifikasi LA pada Trafo 2 pada GI 150/20 kV Brebes.

Parameter	Spesifikasi	Parameter	Spesifikasi
Merk	Siemens	Made In	Germany
Type	3EL2 144-PP62-4XA2	Uc	115 kV
Ur	144 kV	Pr-C1	65 kA
In	20 kV	Date	2012
E <sub>a</sub>	-	A	1000 <sup>dv/dt</sup>

Tabel 2. 4 Spesifikasi LA pada Trafo 3 pada GI 150/20 kV Brebes.

Parameter	Spesifikasi	Parameter	Spesifikasi
Merk	Hubbell	Made In	Germany
Type	PH3170GV132	Uc	105.6 kV
Ur	132 kV	Pr-C1	63 kA
In	10 kA	Dat	2015
E <sub>a</sub>	577kV	A	1000 <sup>dv/dt</sup>

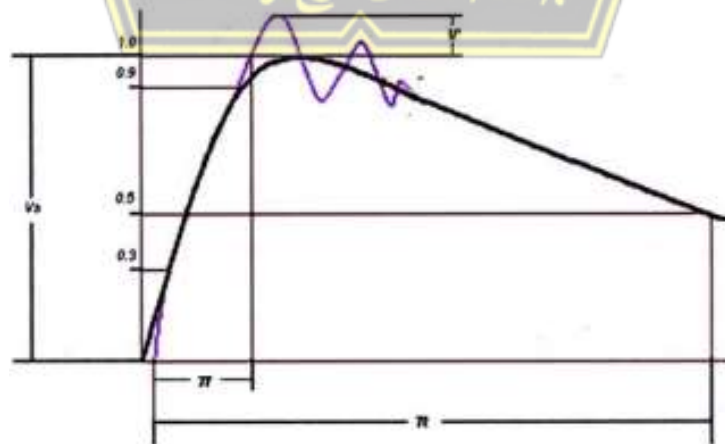
### 2.2.2. Tegangan Impuls

Tegangan Impuls diperlukan dalam pengujian tegangan akibat tegangan lebih dalam dan luar serta untuk meneliti mekanisme tembus. Umumnya tegangan

impuls dibangkitkan dengan melucutnya muatan kapasitor tegangan menengah (melalui sela bola) pada suatu rangkaian resistor dan kapasitor. Nilai puncak dari tegangan impuls dapat ditentukan dengan bantuan sela ukur atau dengan rangkaian elektronik yang dikombinasikan dengan pembagian tegangan. Alat ukur tegangan impuls yang dipakai adalah *oscilloscope* sinar katoda yang memungkinkan penentuan nilai-nilai sesaat melalui pembagian tegangan.

Pada umumnya, bentuk tegangan impuls yang dipakai dilaboratorium adalah tegangan yang naik dalam waktu yang singkat sekali, dan disusul dengan penurunan yang lambat menuju nol. Kecuraman muka gelombang adalah kecepatan naiknya tegangan pada muka gelombang. Kecuraman muka rata-rata dinyatakan sebagai perbandingan antara tegangan puncak dan lamanya muka gelombang.

Menurut rekomendasi International Electrotechnical Commission (IEC), angkanya berturut-turut adalah 30% dan 90%. Muka gelombang didefinisikan sebagai bagian dari gelombang yang dimulai dari titik nol sampai titik puncak, sedang sisanya disebut ekor gelombang. Setengah puncak gelombang adalah titik-titik pada muka dan ekor dimana tegangannya adalah setengah puncak (titik 0.5). Menurut standar Jepang lamanya muka gelombang didefinisikan sebagai hasil bagi antara lamanya tegangan naik dari 10% sampai 90% dari puncak 0.8 yang ditunjukkan pada Gambar 2.5.



Gambar 2. 5 Bentuk Gelombang Impuls.

dengan:  $V_s$  = Tegangan Puncak

$T_t$  = Ekor gelombang

$T_f$  = Muka gelombang

$V$  = Kelebihan Gelombang

Bentuk gelombang impuls standar yang digunakan menurut gambar diatas adalah standar dari IEC yaitu  $1,2 \times 50 \mu s$ , sedangkan dalam penelitian yang digunakan adalah gelombang impuls menurut standar Jepang yaitu  $1 \times 40 \mu s$ , karena peralatan yang dipergunakan adalah berasal dari Jepang.

Gelombang penuh adalah gelombang yang tidak terputus karena lompatan api atau tembusan (*puncture*), mempunyai waktu muka gelombang  $T_f$  ( $\mu s$ ) dan waktu sampai setengah puncak  $T_t$  ( $\mu s$ ). Gelombang ini dinyatakan dengan sandi  $\pm (T_f \times T_t) \mu s$ , dengan polaritasnya. Bentuk gelombang standar menurut IEC adalah  $\pm (1,2 \times 50 \mu sec)$ . Besarnya (*amplitude*) osilasi frekuensi tinggi ( $V_1$ ) pada muka gelombang menurut standar IEC harus kurang dari 5% dari harga puncak disekitar puncak.

Standar-standar Jerman dan Inggris menetapkan  $T_f \times T_t = 1 \times 50 \mu s$ . IEC merekomendasikan =  $1,2 \times 50 \mu s$ . Amerika serikat mempunyai standar  $1,5 \times 40 \mu s$ . Standar gelombang impuls Jepang (JIS)  $1 \times 40 \mu s$ .

### 2.2.3. Perhitungan Jarak Maksimum

Berdasarkan perhitungan jarak maksimum ini ada beberapa teori antara lain:

1. Teori Pantulan Berulang Untuk Menentukan Jarak Maksimum Arrester dengan Peralatan.

Jarak maksimum antara Arrester dan peralatan atau panjang maksimum kabel penghubung dapat ditentukan secara pendekatan dengan menggunakan teori pantulan berulang.

2. Jarak Maksimum Arrester dan Trafo yang Dihubungkan dengan Saluran Udara.



surja yang masuk keperalatan atau reaktor. Terjadinya pantulan berulang pada kabel menimbulkan tegangan yang tinggi pada titik sambungan dan dapat merusak isolator kabel.

### 3. Jarak Maksimum antara Arrester dan Pemutus Daya dan Trafo.

Metode ini menentukan jarak maksimum antara Arrester dengan pemutus daya dan trafo, penentuan jarak maksimum tersebut didasarkan atas dasar asumsi-asumsi dibawah ini:

1. Perlindungan didasarkan pada gelombang surja yang datang mempunyai laju kenaikan 500 Kv per mikro detik.
2. Tegangan surja pada peralatan disisi kawat transmisi dari Arrester dibatasi sampai 1,15 TID dari peralatan. Tegangan dinamis sistem diabaikan karena tidak memepengaruhi jarak tersebut.
3. Kapasitansi surja peralatan pada sisi kawat transmisi dari Arrester diabaikan.
4. Trafo dipresentasikan oleh suatu harga kapasitansi yang menghasilkan tegangan surja maksimum pada trafo.
5. Jarak pemisah didasarkan atas tegangan percik (*sparkover voltage*).
6. Panjang kawat Arrester dari sadapan tanah diambil 10.66 meter (35 kaki) dan induktansinya 0,40 mikro-henry per kaki.
7. Peralatan yang dilindungi dan Arrester diketanahkan dengan suatu kisi-kisi (*grid*) pengetanahan bersama.
8. GI diberi perisai terhadap sambaran langsung dan kawat transmisi juga diperisai mulai dari gardu induk sampai titik dimana surja terjadi.
9. Harga tegangan surja yang datang = 1,2 kali tingkat isolasi gelombang penuh dari saluran.
10. Tegangan yang masuk gardu induk mempunyai laju kenaikan yang tetap sampai tegangan percik Arrester .
11. Hanya satu saluran transmisi yang memasuki GI.

#### 2.2.4. Koordinasi Isolasi

Koordinasi isolasi adalah korelasi antara daya isolasi daya alat-alat dari sirkuit listrik di satu pihak dan karakteristik alat pelindung di pihak lain, Sehingga isolasi peralatan terhindar dari bahaya tegangan lebih tanpa mengabaikan faktor ekonomis [9]. Masalah isolasi merupakan salah satu masalah yang sangat penting dalam suatu sistem tenaga listrik, hal ini menyangkut keadaan operasi. Karena rusaknya peralatan secara tidak langsung akan menyangkut investasi harga peralatan yang harganya sangat tinggi titik peralatan sistem harus mempunyai ketahanan isolasi, sesuai dengan sistem pengamannya.

#### 2.2.5. Tegangan Pengenal *Lightning Arrester*

Tegangan pengenal Arrester merupakan tegangan saat Arrester dapat bekerja sesuai dengan karakteristiknya. Arrester tidak boleh bekerja saat tegangan maksimum sistem, tetapi mampu memutuskan arus susulan dari sistem dengan efektif. Tegangan operasi menentukan tingkat proteksi Arrester. Jika tegangan operasi Arrester berada pada TID peralatan yang dilindungi dan memiliki faktor keamanan yang memadai maka perlindungan peralatan terbaik dapat dicapai. Tegangan tertinggi sebagai berikut:

1. Tegangan sistem maksimum umumnya 110% dari tegangan nominal sistem.
2. Koefisien pembumian didefinisikan sebagai perbandingan antara nilai efektif tegangan fasa-ke-tanah yang sehat pada kondisi gangguan di mana Arrester dipasang dan nilai efektif tegangan fasa-ke-fasa tertinggi dari sistem dalam suatu sistem. Oleh karena itu, tegangan pengenal Arrester (arrester rating) adalah nilai efektif tegangan fasa ke fasa  $\times 1,10 \times$  koefisien pentanahan.
3. Untuk sistem pentanahan langsung, koefisien pentanahannya adalah 0,8, artinya Arrester semacam ini disebut Arrester 80%. Sistem yang tidak terhubung ke *ground* secara langsung mempunyai faktor ground sebesar 1,0. Arrester semacam ini disebut Arrester 100%. Arti dari sistem pentanahan langsung dan sistem pentanahan tidak langsung dengan menghitung tegangan pengenal arrester yang ditunjukkan pada persamaan (2.5).

$$E_a = (V_{sistem} \times \eta) \times 110 \% \dots \dots \dots (2.5)$$

dengan:  $E_a$  = Tegangan pengenalan *Arrester* (V)

$V_{sistem}$  = tegangan sistem (V)

$\eta$  = Koefisien pentanahan *arrester* (80%)

### 2.2.6. Arus Pelepasan *Arrester*

Arus pelepasan adalah besar puncak arus impuls 8/20  $\mu$ s menurut standar, dan digunakan untuk mengklasifikasikan *arrester*. Untuk menentukan arus pelepasan *Arrester* digunakan persamaan (2.6) dan (2.7).

$$I_a = \frac{2E - E_a}{Z + R} \dots \dots \dots (2.6)$$

$$R = \frac{V}{I_a} \dots \dots \dots (2.7)$$

dengan:  $I_a$  = Arus pelepasan *arrester* (A)

$E$  = Tegangan surja yang datang (V)

$V$  = Tegangan nominal (kV)

$E_a$  = Tegangan pengenalan *arrester* (V)

$Z$  = Impedansi kawat transmisi ( $\Omega$ )

$R$  = Resistansi saluran ( $\Omega$ )

Dalam analisis perhitungan jarak aman antara lightning *arrester* dan transformator, impedansi ( $Z$ ) yang digunakan bukan impedansi operasi pada frekuensi daya, melainkan impedansi surja saluran yang merepresentasikan karakteristik perambatan gelombang impuls petir. Untuk saluran udara, nilai impedansi surja secara teoritis berada pada kisaran 300–450  $\Omega$ , dan dalam perhitungan praktis sering diambil nilai  $Z = 400 \Omega$  sebagai pendekatan konservatif dan menjadi dasar penting dalam penentuan jarak aman lightning *arrester*-trafo daya untuk menjamin terpenuhinya koordinasi isolasi dan keandalan sistem tenaga listrik.

### 2.2.7. Transformator

Transformator/ trafo tenaga berfungsi untuk menyalurkan tenaga/ daya listrik dengan menaikkan atau menurunkan tegangan di Gardu Induk. Transformator dapat menaikkan atau menurunkan tegangan listrik tergantung pada jumlah lilitan kawatnya. Untuk menaikkan tegangan maka jumlah lilitan primer atau trafo harus lebih sedikit dari jumlah lilitan sekundernya. Sedangkan jika ingin menurunkan tegangan maka jumlah lilitan primer trafo harus lebih banyak dari jumlah lilitan sekundernya. Dalam teknik tenaga listrik pemakaian transformator dikelompokkan menjadi:

1. Transformator Daya, Transformator daya memiliki peranan sangat penting dalam sistem tenaga listrik. Transformator daya digunakan untuk menyalurkan daya dari generator bertegangan menengah ke transmisi jaringan transformator distribusi. Kebutuhan daya bertegangan tinggi dan berkapasitas besar, menimbulkan persoalan dalam perencanaan isolasi, ukuran bobotnya.
2. Transformator distribusi, Transformator distribusi digunakan untuk mengubah tegangan menengah menjadi tegangan rendah. Sebagaimana halnya dengan komponen-komponen lain dari rangkaian distribusi, rugi-rugi energi dan turun tegangan yang disebabkan arus listrik mengalir menuju beban merupakan penentuan untuk pemilihan dan lokasi transformator.
3. Transformator pengukuran, Dalam prakteknya tidaklah aman menghubungkan instrumen, alat ukur atau peralatan kendali langsung ke rangkaian tegangan tinggi. Transformator Instrumen umumnya digunakan untuk mengurangi tegangan tinggi dan arus hingga harga aman dan dapat digunakan untuk kerja peralatan demikian.

#### a. Jenis-Jenis Transformator

##### 1. Transformator *step-up*

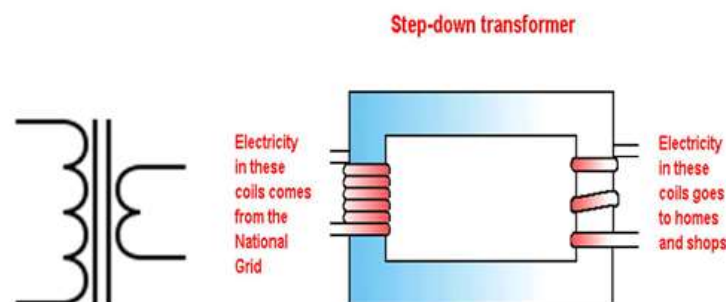
Transformator *step-up* adalah transformator yang berfungsi untuk menaikkan tegangan. memiliki lilitan sekunder lebih banyak daripada lilitan primer (  $N_2 > N_1$  ), sehingga pada transformator *step-up*

memiliki aliran kuat arus yang lebih besar pada bagian kumparan primer dari pada di bagian kumparan sekunder ( $I_1 > I_2$ ). Sedangkan tegangan dari kumparan sekunder akan lebih besar dibandingkan tegangan dari kumparan primer ( $V_2 > V_1$ ). Transformator step-up dapat dilihat pada Gambar 2.7.



## 2. Transformator *Step-Down*

Transformator step-down berfungsi untuk menurunkan tegangan, memiliki lilitan sekunder lebih sedikit daripada lilitan primer ( $N_2 < N_1$ ), tegangan pada kumparan sekunder lebih kecil daripada kumparan primer ( $V_2 < V_1$ ), transformator step down memiliki jumlah arus yang lebih kecil di bagian kumparan primernya dibandingkan di bagian kumparan sekundernya ( $I_1 < I_2$ ) Transformator step-down dapat dilihat pada Gambar 2.8.



Cara kerja trafo didasarkan oleh prinsip induksi elektromagnetik yaitu Trafo menggunakan kumparan kawat yang jika dialiri arus bolak balik, maka akan menciptakan induksi elektromagnetik. Artinya, arus listrik pada kawat melingkar menghasilkan medan magnet.



Gambar 2. 9 Trafo daya GI 150/20 kV Brebes.

Kapasitas dasar trafo dipilih sama dengan daya dasar (*rated output*) generator (Kva). Tegangan primer biasanya dipilih 5% dibawah tegangan dasar generator. Namun, dalam beberapa hal, khususnya untuk trafo yang dihubungkan dengan kawat transmisi tegangan tinggi sekali (*extra-high voltage*) maka, karena faktor daya mungkin sama dengan 1,0 atau bahkan mendahului (*leading*), tegangan primer dipilih sama dengan tegangan generator. Pemakaian sistem pengaturan tegangan dengan cara mengatur tegangan generator. Spesifikasi 3 Trafo daya yang menjadi obyek penelitian ditunjukkan pada Tabel 2.5.

Tabel 2. 5 Spesifikasi Trafo daya pada GI 150/20 kV Brebes.

Parameter	Spesifikasi	Parameter	Spesifikasi
Merk	Pauwels	Circuit Designation	Tarfo 1
Yr.manufactured	2017	Rate Frekuensi	50 Hz
VA Rating	60 MVA	Volume oil	21200 kg
kV Voltage	150/20	Class	ONAN/ONAF
Type	-	Impedansi	12,953 %
V <sub>nominal</sub>	150kV	I <sub>nominal</sub>	1732A

### 2.2.8. Surja Hubung (*switching Surge*)

Surja hubung sangat bergantung pada tegangan sistem, maka makin tinggi tegangannya, makin tinggi pula besarnya tegangan lebih yang disebabkan oleh surja hubung dan surja hubung bisa lebih besar tegangan lebihnya dibandingkan dengan surja petir [10]. Inilah sebabnya perbaikan karakteristik Arrester yang memungkinkan penurunan BIL (petir) menjadikan surja hubung sebagai faktor utama dalam penentuan tingkat isolasi.

### 2.2.9. Standarisasi Jarak Aman

IEC 60099-4 menetapkan persyaratan teknis dan karakteristik kinerja surge arrester metal-oxide tanpa celah untuk sistem AC di atas 1 kV, meliputi spesifikasi tegangan pengenalan, tegangan operasi kontinu maksimum, tegangan sisa, kemampuan penyerapan energi, serta prosedur pengujian guna menjamin keandalan produk. Standarisasi jarak aman antara LA-trafo mengacu pada koordinasi isolasi berdasarkan:

- a. IEC 60099-4 yaitu → Surge Arrester tanpa celah (ZnO)
- b. IEC 60071-1 yaitu → Prinsip koordinasi isolasi

Standar IEC tidak menyebut angka jarak pasti dalam meter, tetapi mensyaratkan:

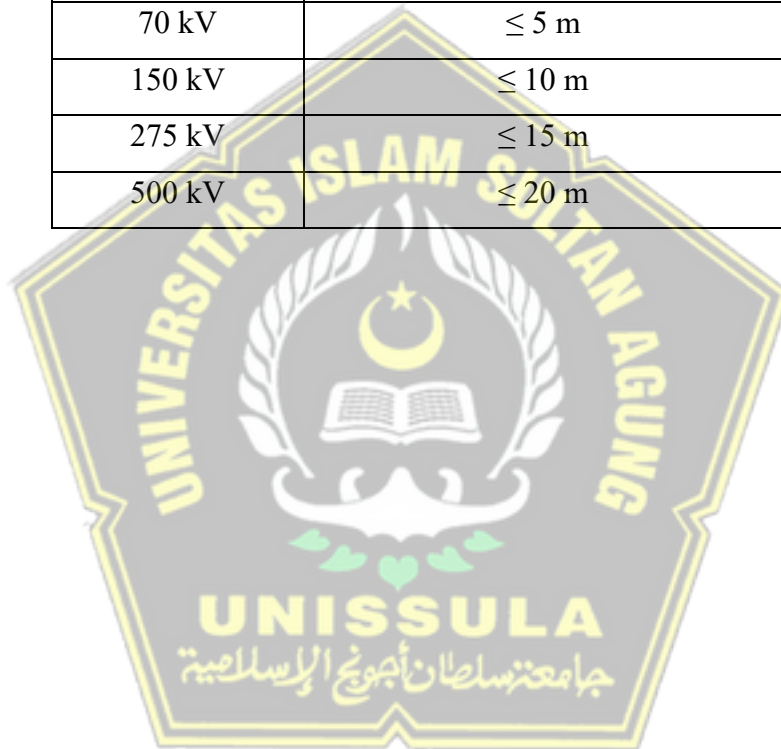
- a. Tegangan yang sampai ke trafo tidak melebihi BIL
- b. Tercapainya koordinasi isolasi yang aman
- c. Margin proteksi minimal 15-20%

Karena itu, jarak ditentukan berdasarkan:

- a. Data nameplate arrester (  $U_c$ ,  $U_r$ ,  $V_r$  )
- b. Nilai BIL Trafo
- c. Impedansi surja sistem (  $400 \Omega$  pada konduktor udara )
- d. Karakteristik arus petir (  $10 \text{ kA}$  )

Tabel 2. 6 Standar Jarak dilapangan.

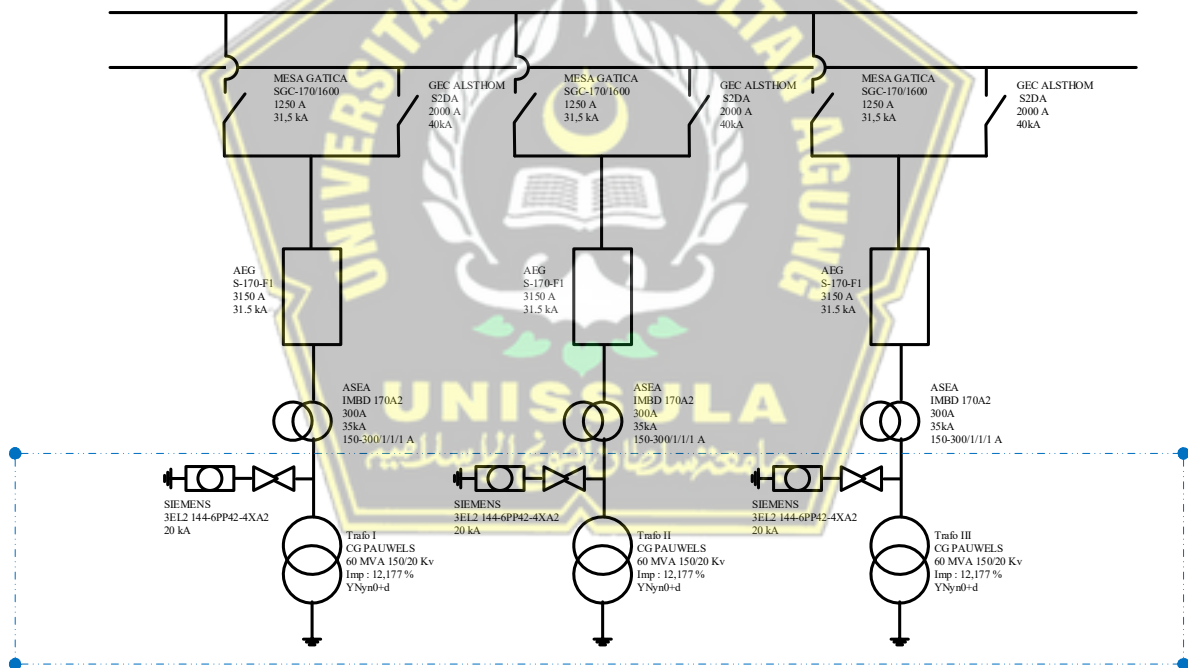
Level Tegangan	Jarak Maksimum disarankan
70 kV	$\leq 5 \text{ m}$
150 kV	$\leq 10 \text{ m}$
275 kV	$\leq 15 \text{ m}$
500 kV	$\leq 20 \text{ m}$



## BAB III METODE PENELITIAN

### 3.1. Model Penelitian

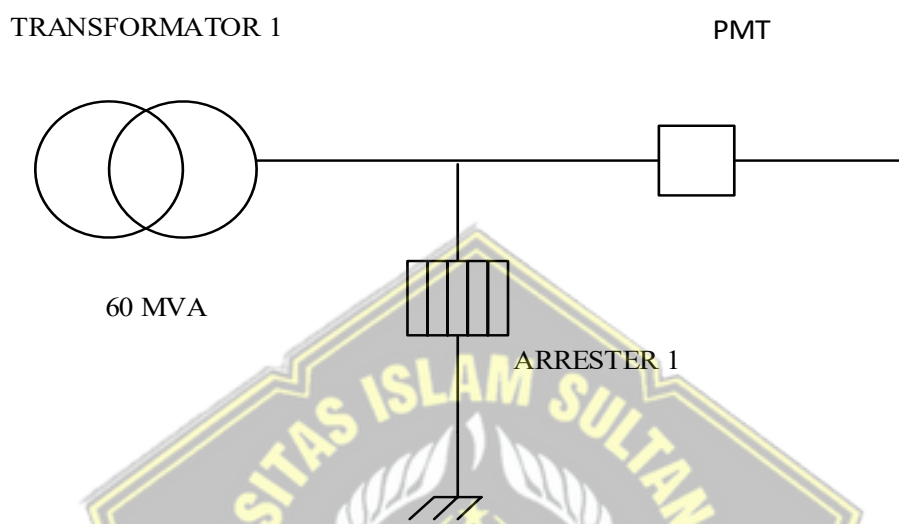
Obyek penelitian ini dilakukan pada Gardu induk 150/20 kV Brebes, UPT Purwokerto. Gardu Induk 150/20 kV Brebes mendapat pasokan listrik dari beberapa pembangkit salah satunya adalah CEP (*Cirebon Electrical Power*). Dibawah merupakan single line diagram Trafo 1, Trafo 2 dan Trafo 3 yang diperlihatkan pada Gambar 3.1. model penelitian yang diambil untuk menentukan jarak aman Lightning arrester – trafo dayan dengan kapasitas 60 MVA yang ditunjukkan pada Gambar 3.1.



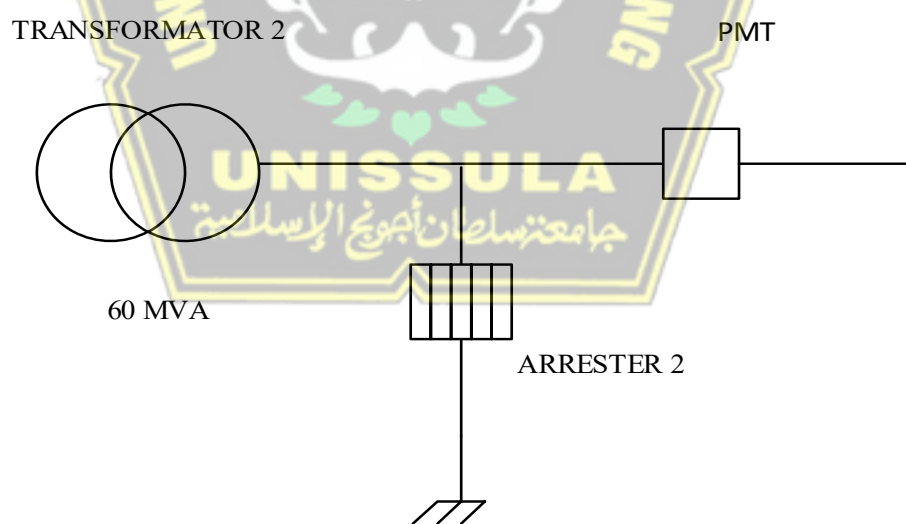
Gambar 3. 1 Single Line diagram GI 150/20 kV Brebes.

### 3.2. Model Penempatan Arrester

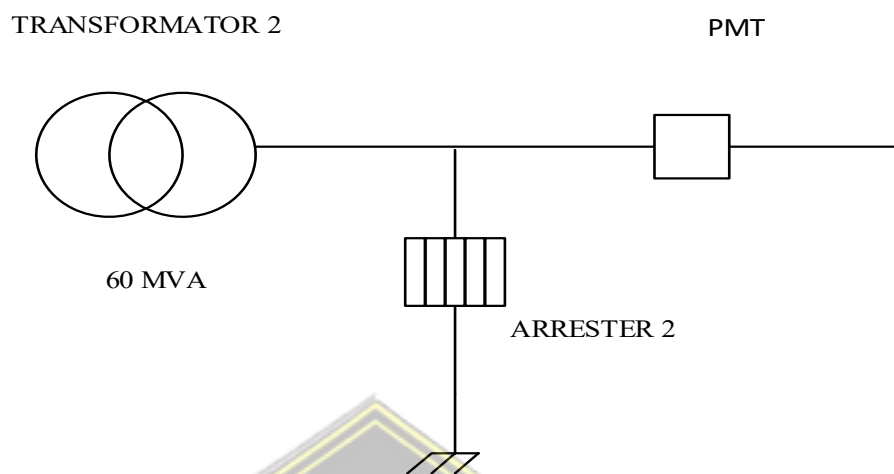
Model penelitian yang digunakan dapat dilihat pada Gambar 3.2 sampai dengan 3.4. yang menjadi obyek penelitian.



Gambar 3. 2 Model Penelitian Lightning arrester – Trafo daya 1 60 MVA.



Gambar 3. 3 Model Penelitian Lightning arrester – Trafo daya 2 60 MVA.



Gambar 3. 4 Model Penelitian Lightning arrester – Trafo daya 2 60 MVA.

### 3.3. Lokasi Penelitian

Penelitian jarak aman *Lightning Arrester* – Transformator dilakukan pada gardu Induk 150/20 kV Brebes. Gardu Induk 150/20 kV digunakan sebagai tempat penelitian jarak aman *Lightning Arrester* – Transformator yang terletak di Desa Karanganyar. Kecamatan Wanasari, Kabupaten Brebes, Jawa Tengah, 52252. Lokasi penelitian ditunjukkan pada Gambar 3.5.



Gambar 3. 5 Lokasi Penelitian.

### 3.4. Peralatan Yang Digunakan

Penyusunan penelitian ini menggunakan data hasil pengukuran pada GI 150/20 kV Brebes. Jarak aman *lightning arrester* terhadap trafo daya diukur dengan alat ukur dengan tolak ukur hasil perhitungan dengan hasil pengukuran jarak aman *Lightning arrester* terhadap trafo daya.

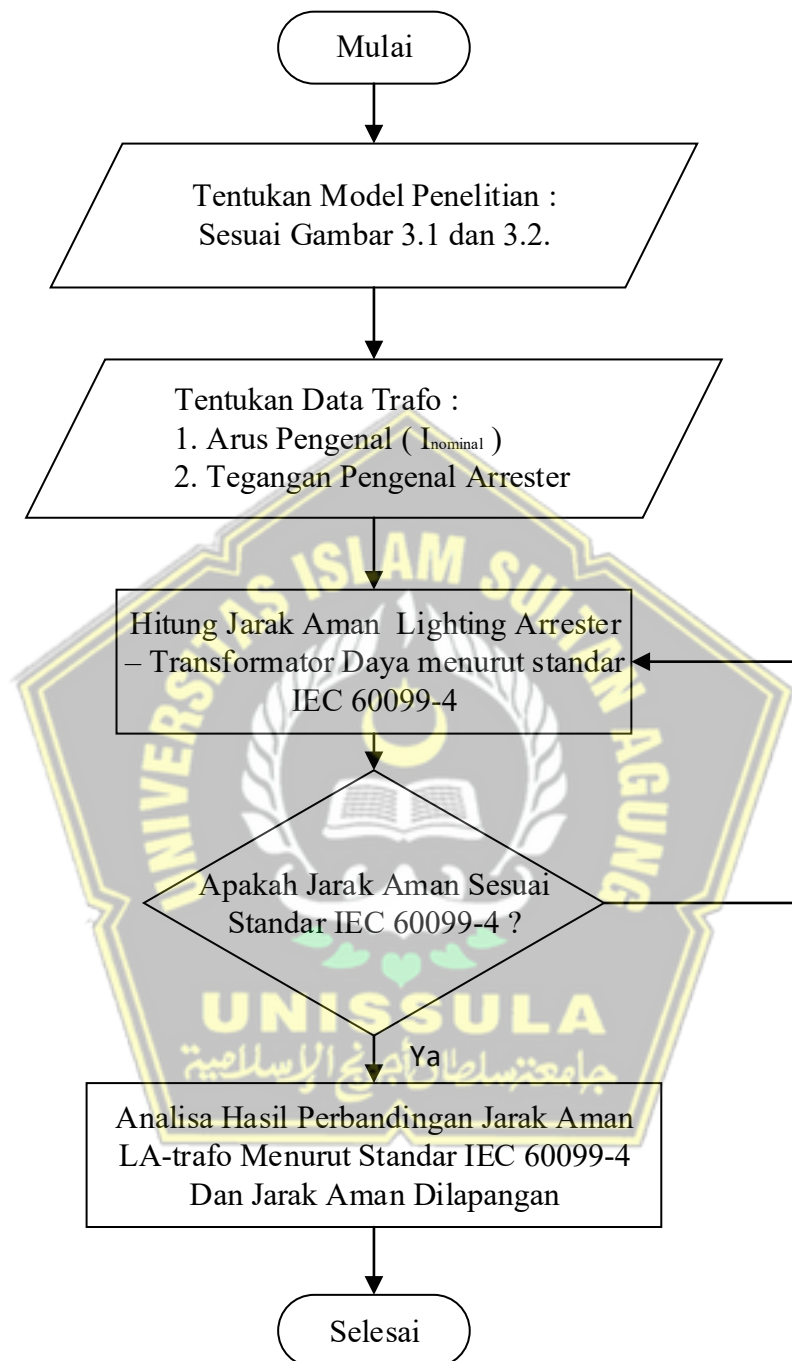
### 3.5. Metode Penelitian

Data yang dibutuhkan menggunakan metode wawancara dan observasi ke lapangan. Pengambilan data untuk mengetahui jarak pemasangan *Lightning arrester* dengan trafo daya pada Gardu Induk 150/20 kV Brebes UPT Purwokerto, dengan metode manual dengan menggunakan alat ukur dengan didampingi oleh *supervisor*.

### 3.6. Tahapan Penelitian

Tahap penelitian selanjutnya yaitu diagram alur penelitian dengan menentukan single line diagram pada GI 150/20 kV Brebes pada Gambar 3.1. Pada Gambar tersebut terdapat simbol – simbol yang ada pada Gardu Induk Tegangan Tinggi 150/20 kV Brebes. Tahap penelitian ini di fokuskan pada jarak aman *Lightning Arrester* – Trafo daya 60 MVA. Menentukan parameter – parameter data yang dibutuhkan untuk jarak pemasangan setiap *arrester* pada Trafo daya.

### 3.7. Flowchart Penelitian



Gambar 3. 6 Flowchart Penelitian.

### 1. Pengumpulan Data

Peneliti melakukan wawancara dengan pihak Supervisor dan beberapa petugas jargi GI 150/20 kV Brebes mengenai proteksi pada Trafo 2 dan data-data mengenai perangkat proteksi yang ada.

### 2. Data

Data yang diperoleh dari GI 150/20 kV Brebes, khususnya kemudian dilakukan perhitungan. Berikut data yang didapat pada GI 150/20 kV Brebes.

Data harga maksimum tegangan lebih gelombang petir PT PLN (Persero) dapat dilihat pada Tabel 3.1.

Tabel 3. 1 Data Nilai Harga Maksimum Tegangan Lebih Gelombang Petir.

Arrester Rating (kV) rms	Font Steepness FOW kV/ $\mu$ s	10 kA light-and heavy-duty and 5 kA Serie A	
		Std. kV , peak	FOW. kV , peak
1	2	3	4
108	870	363	418
120	940	940	463
126	980	980	495
138	1.025	500	577
174	1.160	570	660
186	1.180	610	702
198	1.1200	649	746

Tabel 3.1 diperoleh tegangan percikan impuls maksimum sebesar 577 kV yang mana diambil dari baris ke empat dengan rating arrester 138 kV dan kecepatan rambat 1025 kV/ $\mu$ s. Untuk menentukan jarak optimum pemasangan *arrester* dengan trafo adalah dengan menentukan parameter-parameter yang dibutuhkan, kemudian menghitung jarak aman *lightning arrester* – trafo daya sesuai dengan persamaan (2.4).

## BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

### 4.1. Hasil

Merujuk pada objek penelitian pada Gambar 3.1 sampai dengan 3.4 dengan ditentukannya data trafo dan tegangan pengenal untuk menentukan jarak aman *lightning arrester* – Trafo maka dilakukan perhitungan jarak aman antara *Lightning Arrester* – Trafo daya 60 MVA Gardu Induk 150/20 kV Brebes, sesuai dengan standar IEC 60099-4 yang menjadi landasan pada penelitian ini.

#### 4.1.1. Perhitungan Tegangan Pengenal Arrester

Perhitungan tegangan pengenal arrester dapat digunakan persamaan. Pada semua sistem yang ditanahkan langsung, koefisien pentanahan adalah 0,8. Maka dilakukan perhitungan tegangan pengenal tiap-tiap *Arrester* yang diperlihatkan pada persamaan (2.5).

Perhitungan Tegangan Pengenal Arrester :

$$E_a = (150 \times 0,8) \times 1.1 \\ = 132 \text{ kV}$$

Tabel 4. 1 Hasil Perhitungan tegangan pengenal arrester.

Arrester – Trafo	V <sub>sistem</sub> (V)	$\eta$	E <sub>a</sub>
1	150 kV	0.8	132 kV
2	150 kV	0.8	132 kV
3	150 kV	0.8	132 kV

Tabel 4.1 menjelaskan tentang nilai tegangan pengenal *arrester* 1, *arrester* 2 dan *arrester* 3 sebesar 132 kV. Dilihat pada Tabel 4.1 yang mengacu pada Tabel 3.1 yang digunakan nilai terdekat pada data adalah 138 kV.

#### 4.1.2. Perhitungan Arus Pelepasan Arrester

Tegangan pelepasan atau tegangan kerja untuk tegangan nominal 150/20 kV dan arus 10 kA adalah sebesar 500 kV. Nilai impedansi surja pada kawat udara berkisar antara 400-600 ohm, sedangkan untuk kabel berkisar antara 50-60 ohm. Penentuan hambatan saluran trafo daya 60 MVA pada gardu induk 150/20 kV Brebes dapat ditentukan dengan persamaan (2.7).

Hambatan Saluran Trafo :

$$R = \frac{150 \text{ kV}}{1732 \text{ A}}$$

$$R = 86.6 \Omega$$

Hasil Perhitungan hambatan saluran trafo menunjukkan nilai sebesar 86.6  $\Omega$ . Untuk keseluruhan ketiga trafo memiliki nilai hambatan yang sama dapat ditunjukkan pada Tabel 4.2.

Tabel 4. 2 Hasil Perhitungan hambatan saluran trafo daya 60 MVA.

Trafo	V <sub>nominal</sub> (kV)	I <sub>a</sub> (A)	R ( $\Omega$ )
1	150 kV	1732	86.6
2	150 kV	1732	86.6
3	150 kV	1732	86.6

Tabel 4.2 menjelaskan tentang persamaan hasil nilai hambatan pada Trafo 1, Trafo 2 dan Trafo 3 adalah 86  $\Omega$ .

Penentuan arus pelepasan *arrester* untuk mengisolasi Trafo daya dengan kapasitas 60 MVA dapat dilakukan dengan persamaan (2.6).

Arus pelepasan *arrester* :

$$I_a = \frac{2(1025 \text{ kV}) - 150 \text{ kV}}{400 + 86.6}$$

$$I_a = 3,91 \text{ kA}$$

Tabel 4. 3 Perhitungan arus pelepasan arrester pada trafo daya GI Brebes.

Arrester	E (V)	Ea (V)	2E-Ea (V)	Z ( $\Omega$ )	R ( $\Omega$ )	Z + R ( $\Omega$ )	Ia (A)
1	1025 kV	150 kV	1900 kV	400	86.6	486.6	3.9 kA
2	1025 kV	150 kV	1900 kV	400	86.6	486.6	3.9 kA
3	1025 kV	150 kV	1900 kV	400	86.6	486.6	3.9 kA

Tabel 4.3 menjelaskan tentang hasil perhitungan yang dilakukan untuk arus pelepasan *arrester* 1, arus pelepasan *arrester* 2, dan arus pelepasan *arrester* 3 sebesar 3,91 kA

#### 4.1.3. Koordinasi isolasi terhadap GI 150/20 kV

Tegangan pengenalan pada arrester sesuai Tabel 3.1 adalah 138 kV dengan kelas 10 kA, Tingkat Isolasi Dasar 650 kV dan Tegangan kerja 500 kV. Maka dengan menggunakan data pada Tabel 2.1 Karakteristik Arrester diperoleh tegangan percikan Impuls maximum (Ea) sebesar 577 kV. Dengan nilai Tingkat Isolasi Dasar (TID) yang lebih tinggi dari pada nilai tegangan percikan impuls maximum (Ea) maka koordinasi isolasi terhadap Gardu Induk 150/20 kV Brebes sudah cukup baik. Untuk TID peralatan seperti : CT, PMS, PMT, adalah  $650 \times 1,1 = 725$  kV. Maka nilai TID yang dipilih setingkat lebih tinggi yaitu 750 kV.

#### 4.1.4. Menentukan jarak aman Lightning arrester – trafo daya 60 MVA

Menentukan jarak aman *Lightning Arrester* – Trafo daya 60 MVA dapat dihitung dengan persamaan (2.4). Diketahui tegangan sistem peralatan sebagai berikut, tegangan transmisi 150KV, dan BIL trafo 650KV. Trafo diproteksi dengan arrester petir dan tegangan percikan 577 kV. Maka dilakukan perhitungan dengan persamaan (2.4).

Jarak *arrester* – trafo :

$$650 = 577 + 2 \frac{1000S}{300}$$

$$73 = 2 \frac{1000S}{300}$$

$$S = \frac{73}{6,66} = 10,96 \text{ meter}$$

Tabel 4. 4 Hasil Perhitungan jarak aman Lightning arrester trafo daya.

Arrester – trafo	Ep	Ea	A	v	s (m)
1	650 kV	577 kV	1000	300	10.96
2	650 kV	577 kV	1000	300	10.96
3	650 kV	577 kV	1000	300	10.96

Tabel 4.4 menjelaskan tentang Hasil perhitungan jarak antara Arrester dan trafo adalah 10,96 meter. Jarak pemasangan arrester – trafo 1, arrester – trafo 2 dan arrester – trafo 3 di lapangan adalah 3.40 m, 4.10 m dan 3.80 m. sehingga pemasangannya masih lebih rendah dari harga maksimum.

#### 4.2. Pembahasan

Penempatan jarak aman antara lightning arrester (LA) dan transformator dilakukan berdasarkan prinsip koordinasi isolasi sesuai IEC 60099-4 dan IEC 60071. Secara teoritis, ketika gelombang surja petir datang, arrester akan membatasi tegangan hingga sebesar tegangan sisa ( $U_p$ ). Namun apabila terdapat jarak antara LA dan terminal transformator, akan timbul kenaikan tegangan tambahan akibat fenomena gelombang berjalan dan refleksi pada ujung saluran. Oleh karena itu, tegangan yang diterima transformator merupakan penjumlahan antara  $U_p$  dan kenaikan tegangan akibat jarak tersebut, dan nilainya tidak boleh melebihi *Basic Insulation Level* (BIL) efektif transformator. Secara matematis, jarak maksimum dapat diturunkan dari selisih antara BIL efektif dan  $U_p$ , kemudian dikalikan kecepatan rambat gelombang dan dibagi dua kali nilai  $U_p$ . Hasil perhitungan ini menunjukkan jarak teoritis maksimum, namun dalam praktik gardu induk, arrester tetap dipasang sedekat mungkin dengan transformator untuk meminimalkan efek refleksi dan meningkatkan keandalan sistem tenaga listrik. Ditunjukkan pada Tabel 2.5.

Tabel 4. 5 Perbandingan Perhitungan Jarak aman LA - Trafo

Parameter	Jarak Maksimum	Jarak Dilapangan
LA 1 - Trafo 1	10,96 m	3,40 m
LA 2 - Trafo 2	10,96 m	4,10 m
LA 3 – Trafo 3	10,96 m	3,80 m

Berdasarkan tabel 4.5 hasil perhitungan menunjukkan bahwa jarak aman *Lightning Arrester* – Trafo daya 60 MVA pada GI 150/20 kV Brebes didapatkan hasil jarak maksimum yang diizinkan adalah 10,96 meter. Jarak ini merupakan standar jarak aman *Lightning Arrester* – Trafo daya berdasarkan spesifikasi data yang ada. Jarak Arrester 1 ke trafo daya 1 yang terpasang pada GI 150/20 kV adalah 3,40 meter. Jarak *arrester* 2 ke trafo daya 2 yang terpasang pada GI 150/20 kV adalah 4,10 meter. Jarak *arrester* 2 ke trafo daya 2 yang terpasang pada GI 150/20 kV masing-masing adalah 3,80 meter. Dengan jarak tersebut *arrester* mampu melindungi trafo daya dengan baik. Semakin dekat jarak *arrester* yang dipasang untuk melindungi trafo daya maka semakin baik Arrester dalam melindungi trafo daya dari gangguan surja.

## **BAB V**

### **KESIMPULAN DAN SARAN**

#### **5.1. Kesimpulan**

Berdasarkan hasil penelitian dan perhitungan yang telah dilakukan pada GI 150/20 kV Brebes terhadap evaluasi penempatan jarak aman *lightning arrester* terhadap Trafo daya 3 x 60 MVA, maka dapat diambil beberapa kesimpulan:

1. Hasil perhitungan menunjukkan bahwa jarak maksimum yang diizinkan antara lightning arrester dengan trafo daya berdasarkan standar IEC 60099-4 adalah 10,96 meter. Sementara itu, jarak pemasangan aktual di lapangan untuk trafo 1, trafo 2, dan trafo 3 adalah masing-masing 3,40 meter, 4.10 meter, dan 3,80 meter, sehingga seluruh pemasangan telah memenuhi kriteria jarak aman yang disyaratkan.
2. Lightning arrester yang terpasang mampu memberikan perlindungan yang optimal terhadap trafo daya, tercermin dari nilai arus pelepasan sebesar 3,91 kA dan tingkat isolasi dasar peralatan (BIL) yang lebih tinggi dari tegangan percikan impuls maksimum. Hal ini menunjukkan bahwa koordinasi isolasi dan sistem proteksi telah dilaksanakan dengan baik.
3. Posisi lightning arrester yang berada di bawah jarak maksimum, maka sistem proteksi terhadap trafo daya 60 MVA pada GI 150/20 kV Brebes dinilai sudah sesuai standar dan handal dalam mencegah kerusakan akibat gangguan surja petir. Penempatan yang semakin dekat antara arrester dan trafo daya akan meningkatkan efektivitas perlindungan secara menyeluruh.

#### **5.1. Saran**

Saran yang dapat diberikan oleh penulis untuk penelitian selanjutnya agar menjadi referensi kedepannya adalah:

1. Melakukan pengecekan dan pemeliharaan secara berkala pada lightning arrester dan trafo daya agar selalu berfungsi dengan baik.
2. Melakukan evaluasi ulang jarak pemasangan arrester apabila terjadi perubahan standar atau perkembangan teknologi proteksi.

3. Penelitian ini dapat dikembangkan dengan menggunakan software yang berhubungan dengan ketahanan peralatan yang ada pada GI 150/20 kV terhadap surja.



## DAFTAR PUSTAKA

- [1] R. Alfauzi and D. Fauziah, “Perbaikan Koneksi Klem Trafo Arus untuk Menurunkan Hotspot di Gardu Induk 150 kV Kebasen Bay Brebes I,” in *Prosiding Seminar Nasional Energi, Telekomunikasi dan Otomasi (SNETO)*, 2023, p. 246.
- [2] L. Yang and J. Teh, “Review On Vulnerability Analysis Of Power Distribution Network,” *Electric Power Systems Research*, vol. 224, p. 109741, 2023.
- [3] M. Zainuddin and L. Bima, “Jarak Penempatan Lightning Arrester sebagai Pelindung Trafo terhadap Tegangan Lebih pada Gardu Induk 150 KV Harapan Baru,” *Mutiara: Jurnal Ilmiah Multidisiplin Indonesia*, vol. 1, no. 2, pp. 164–185, 2023.
- [4] I. Hajar and E. Rahman, “KAJIAN PEMASANGAN LIGHTNING ARRESTER PADA SISI HV TRAFO DAYA UNIT SATU GARDU INDUK TELUK BETUNG: Ibnu Hajar, Eko Rahman,” *Energi & Kelistrikan*, vol. 9, no. 2, pp. 168–179, 2017.
- [5] A. Mahmudah and L. Liliana, “Analisis Jarak Penempatan Arrester Sebagai Pengaman Trafo daya Dari Gangguan Surja Petir,” *Briliant: Jurnal Riset dan Konseptual*, vol. 8, no. 3, pp. 731–739, 2023.
- [6] J. Manihuruk, T. Simorangkir, and N. L. Sitanggang, “Studi kemampuan arrester untuk pengaman trafo pada gardu induk Tanjung Morawa 150 kV,” *Jurnal ELPOTECs*, vol. 4, no. 1, pp. 16–25, 2021.
- [7] A. Bijaksana, A. Muhammad, F. Faridah, and M. A. Jubbar, “Analisis Pemanfaatan Lightning Arrester Untuk Pengaman Trafo Pada Gardu Induk Bolangi,” *ILTEK*, vol. 13, no. 01, pp. 1853–1858, 2018.
- [8] D. P. Yudha Prawira, I. G. Dyana Arjana, and C. G. Indra Partha, “ANALISA LIGHTNING ARRESTER AKIBAT UPRATING TRAFO 150/20 kV DARI 30 MVA KE 60 MVA DI GARDU INDUK SANUR,” *Jurnal SPEKTRUM*, vol. 5, no. 2, p. 207, 2018, doi: 10.24843/spektrum.2018.v05.i02.p26.

- [9] R. M. Utomo, F. Abda'oe, A. Harjanto, and N. R. Alham, "Analysis the Distance of Lightning Arrester to Transformer as Protection Against Lightning Disturbances," in *International Conference on Tropical Studies and Its Application (ICTROPS 2024)*, Atlantis Press, 2025, pp. 349–356.
- [10] N. Ravichandran, D. Proto, and A. Andreotti, "Surge arrester optimal placement in distribution networks: A decision theory-based approach," *Electric Power Systems Research*, vol. 234, p. 110744, 2024.

