

**ANALISA KEMAMPUAN LIGHTNING ARRESTER PADA
TRANSMFORMATOR DAYA DI GARDU INDUK 150 kV PALUR**



**Disusun sebagai salah satu syarat menyelesaikan Program Studi Strata I
pada Program Studi Teknik Elektro Fakultas Teknik**

Oleh:

FAJRI NUGROHO

D 400 160 067

**PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SURAKARTA
2023**

HALAMAN PERSETUJUAN

**ANALISA KEMAMPUAN LIGHTNING ARRESTER PADA
TRANSMFORMATOR DAYA DI GARDU INDUK 150 kV**

PUBLIKASI ILMIAH

oleh:

FAJRI NUGROHO

D 400 160 067

Telah diperiksa dan disetujui untuk diuji oleh:

Dosen

Pembimbing



Dr. Ratnasari Nur Rohmah, S.T., M.T.

NIK. 780

HALAMAN PENGESAHAN

ANALISA KEMAMPUAN LIGHTNING ARRESTER PADA TRANFORMATOR DAYA DI GARDU INDUK 150 kV

OLEH
FAJRI NUGROHO
D400160067

Telah dipertahankan di depan Dewan Penguji
Fakultas Teknik
Universitas Muhammadiyah Surakarta
Pada hari Jum'at, 20 Januari 2023
dan dinyatakan telah memenuhi syarat.

Dewan Penguji:

1. Dr. Ratnasari Nur Rohmah, S.T., M.T.
(Ketua Dewan Penguji)
2. Heru Supriyono, S.T., M.Sc., Ph.D.
(Anggota I Dewan Penguji)
3. Bambang Hari Purwoto, S.T., M.T.
(Anggota II Dewan Penguji)


(.....)

(.....)

(.....)

Dekan,



Rois Fatoni, S.T., M.Sc., Ph.D.
NIK/NIDN : 0603027401

PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa dalam publikasi ilmiah ini tidak terdapat karya yang pernah diajukan untuk memperoleh gelar kesarjanaan di suatu perguruan tinggi dan sepanjang pengetahuan saya juga tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan orang lain, kecuali secara tertulis diacu dalam naskah dan disebutkan dalam daftar pustaka.

Apabila kelak terbukti ada ketidakbenaran dalam pernyataan saya di atas, maka akan saya pertanggungjawabkan sepenuhnya.

Surakarta, 20 Januari 2023

Penulis



FAJRI NUGROHO

D400160067

ANALISA KEMAMPUAN LIGHTNING ARRESTER PADA TRANSFORMATOR DAYA DI GARDU INDUK 150 Kv PALUR

Abstrak

Sistem tenaga listrik adalah sebuah sistem yang menghubungkan antara pembangkit listrik dengan konsumen, listrik akan di distribusikan melalui saluran transmisi, gardu induk, serta saluran distribusi. Karena memiliki peran yang sangat penting dalam mendistribusikan listrik ke konsumen, maka dibutuhkan alat yang mampu memberikan proteksi pada peralatan-peralatan di Gardu Induk. Salah satu gangguan yang sering terjadi di Indonesia adalah Surja Petir, hal ini disebabkan karena Negara Indonesia memiliki curah hujan yang tinggi. Surja Petir juga merupakan salah satu gangguan yang meningkatkan potensi kerusakan peralatan pada Gardu Induk. Salah satu instrument penting pada Gardu Induk yang wajib dilindungi adalah Transformator yang berfungsi untuk menyalurkan daya listrik dengan menaikkan atau menurunkan tegangan di Gardu Induk. Transformator sering menggunakan alat proteksi berupa Lightning Arrester agar terproteksi dari gangguan Surja Petir. Lightning Arrester sendiri merupakan alat yang berfungsi untuk memproteksi jaringan dan peralatan pada sistem tenaga listrik terhadap gangguan yang terjadi karena surja petir dan surja hubung. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk menganalisa kinerja Lightning Arrester apakah masih optimum untuk melindungi Transformator Daya dari gangguan Surja Petir pada Gardu Unduk 150 kV Palur. Dari perhitungan didapatkan hasil bahwa Jarak Maksimum Arrester yang terpasang pada bay Trafo 1 adalah 22,5 meter, sedangkan jarak pemasangan dilapangan sejauh 3 meter jadi Arrester masih mampu melindungi Trafo karna masih dibawah harga jarak maksimum. Nilai tegangan maksimum yang dapat diterima Arrester adalah 650 kV, nilai itu sama persis dengan nilai TID Trafo yaitu 650 kV. Maka Lightning Arrester masih mampu melindungi Tranformator dari gangguan Surja Petir.

Kata Kunci: gardu induk, transformator, lightning arrester, surja petir

Abstract

The electric power system is a system that connects power plants with consumers, electricity will be distributed through transmission lines, substations, and distribution channels. Because it's very important to distributing electricity to consumers, a tool is needed to provide protection to the equipment at the substation. One of the disturbances that often occurs in Indonesia is lightning surge, this is because Indonesia has high rainfall. Lightning surge is also one of the disturbances that increases the potential for damage to equipment at the substation. Most important instruments at the substation that must be protected is the transformer which functions to distribute electrical power by increasing or decreasing the voltage at the substation. Transformers often use a protective device in the form of a Lightning Arrester to protect against Lightning Surge disturbances. Lightning Arrester itself is a tool that functions to protect networks and equipment in the electric power system against disturbances that occur due to lightning surges and circuit surges. The purpose of this study is to analyze the performance of the Lightning Arrester whether it is still optimum to protect the Power Transformer from Lightning Surge disturbances at the 150 kV Palur Substation. From the calculations, the result is maximum distance of the arrester installed in the transformer 1 bay is 22,5 meters, while the installation distance in the field is 3 meters, so the arrester is still able to protect the transformer because it's still below of maximum distance price. Maximum voltage value that the Arrester can accept is 650

kV, that value is exactly the same as the Transformer TID value, which is 650 kV. So the Lightning Arrester is still able to protect the Transformer from Lightning Surge disturbances.

Keywords: substation, transformer, lightning arrester, lightning surge

1. PENDAHULUAN

Sistem tenaga listrik adalah sebuah sistem yang menghubungkan antara pembangkit listrik dengan konsumen, listrik akan di distribusikan melalui saluran transmisi, gardu induk, serta saluran distribusi sehingga listrik yang dibangkitkan oleh pembangkit bisa sampai ke konsumen. Beragam jaringan listrik terdapat di Indonesia, hal ini disesuaikan oleh tinggi rendahnya tegangan yang dihasilkan. Jaringan dengan tegangan 115 kV, 138 kV, dan 230 kV dikategorikan sebagai Jaringan Tinggi Standar. Sedangkan jaringan dengan tegangan 345 kV, 500kV, dan 765 kV dikategorikan sebagai Jaringan Tegangan Ekstra Tinggi (Nurul H, 2009).

Salah satu komponen penting dalam sistem transmisi adalah Gardu Induk yang memiliki peranan penting pada sistem distribusi tenaga listrik untuk menurunkan daya listrik dari 150 kV menjadi 20 kV sehingga dapat diterima oleh konsumen. Untuk itu agar memperkecil angka kerusakan pada peralatan tenaga listrik, perlu adanya peralatan yang melindungi dari gangguan.

Beberapa hal bisa menyebabkan gangguan listrik pada Gardu Induk seperti, peralatan yang kurang baik atau sudah termakan usia, kesalahan manusia, serta gangguan yang disebabkan oleh alam seperti petir, gempa bumi, banjir dan angin kencang (Nurul H, 2009). Salah satu gangguan yang sering terjadi di Indonesia adalah Surja Petir, hal ini disebabkan karena Negara Indonesia memiliki curah hujan yang tinggi. Surja Petir juga merupakan salah satu gangguan yang meningkatkan potensi kerusakan peralatan pada Gardu Induk. Pada saluran lebih dari 187 kV hampir semua disebabkan oleh petir, dan pada saluran 110-154 kV lebih dari 70% gangguan disebabkan oleh gejala-gejala alamiah termasuk Surja Petir (Nurul H, 2009).

Salah satu instrument penting pada Gardu Induk yang wajib dilindungi adalah Transformator yang berfungsi menyalurkan daya listrik dengan menaikkan atau menurunkan tegangan di Gardu Induk. Transformator sering menggunakan alat proteksi berupa Lightning Arrester agar terproteksi dari gangguan Surja Petir.

Lightning Arrester sendiri merupakan alat yang berfungsi untuk memproteksi jaringan dan peralatan pada sistem tenaga listrik terhadap gangguan yang terjadi karena surja petir dan surja hubung. Salah satu penggunaannya adalah untuk melindungi Transformator Daya yang ada pada Gardu Induk. Penempatan Lightning Arrester harus berpedoman pada jarak aman antar arrester dengan trafo. Meskipun demikian penentuan jarak yang aman harus mempertimbangkan Tegangan

Percik Arrester, Tegangan Jepit Trafo, Kecelakaan Gelombang Datang, BIL (*Basic Isolation Level*), Induktansi Kawat Arrester dan Kecepatan Rambat Gelombang. Untuk meningkatkan kinerja jaringan distribusi dalam melindungi peralatan dari gangguan surja petir, perlu adanya jarak yang optimal lokasi antara Lightning Arrester dan Transformator (Seyed Ahmad Hosseini dkk, 2015)

2. METODE

Metode yang dilakukan dimulai dari sudi literatur, dimana metode ini dilakukan dengan cara mencari referensi dari berbagai jurnal ilmiah yang terkait dengan penelitian ini. Setelah melakukan studi literatur maka diperoleh referensi metode apa yang akan dipilih dalam melakukan penelitian, maka didapatlah metode penelitian dengan cara membandingkan hasil perhitungan dengan hasil pengukuran atau data yang didapatkan dari lapangan. Setelah menentukan metode yang dipilih, kemudian dilakukan pengambilan data-data untuk menunjang penelitian. Pengambilan data ini awalnya ingin dilakukan secara langsung di Gardu Induk 150 kV Palur, tetapi karena adanya kendala perizinan maka, pengambilan data dilakukan di Kantor PLN UPT. Salatiga Sub. Bagian Ases, Diagnosa dan Olah Data dengan bimbingan langsung dari Supervisor bagian tersebut. Setelah data-data penunjang didapatkan hal selanjutnya yang dilakukan adalah Menganalisa data yang ada dengan metode yang sudah dipilih menggunakan perhitungan manual.

Tegangan Sistem Maksimum :

$$V \text{ Sistem Maksimum} = V \text{ Nominal} + 110 \% \quad (1)$$

Diketahui :

$$\begin{aligned} V \text{ Nominal} &= 170 \text{ kV} \\ 110 \% &= \text{Faktor Toleransi} \end{aligned}$$

Hasil yang didapatkan dari Tegangan Sistem Maksimum Arrester digunakan untuk menghitung Tegangan Pengenal Arrester menggunakan persamaan :

Tegangan Pengenal Arrester :

$$V \text{ Pengenal Arrester} = V \text{ Sistem Maksimum} \times 0,8 \quad (2)$$

Diketahui :

$$0,8 = \text{Nilai Koefisien Pembumian}$$

Kemudian menentukan Arus Pelepasan Arrester, namun sebelumnya perlu diketahui dahulu berapa nilai Tegangan Puncak Arrester dan Impedansi Kawat menggunakan persamaan :

Tegangan Puncak Arrester :

Gardu Induk 150 kV Palur memiliki jenis isolator gantung *Anti Fog* yang mempunyai Tingkat Isolasi Dasar (TID) sebesar 750 kV.

$$V_{puncak} = 1,2 \times TID \text{ Saluran} \quad (3)$$

Diketahui :

$$TID \text{ Saluran} = 750 \text{ KV}$$

Impedansi Kawat :

$$Z_s = 60 \ln \frac{2h}{r} \quad (4)$$

Diketahui :

$$h = \text{Tinggi Kawat Penghantar}$$

$$r = \text{Jari-jari Konduktor Kawat}$$

Setelah diketahui berapa nilai impedansi kawat, selanjutnya menentukan Arus Pelepasan Arrester menggunakan persamaan :

Arus Pelepasan Arrester :

$$I_a = \frac{2U_d - E_a}{Z_s} \quad (5)$$

Diketahui :

$$U_d = \text{Tegangan Puncak}$$

$$E_a = \text{Tegangan Kerja}$$

$$Z_s = \text{Impedansi Kawat}$$

Setelah itu dilanjutkan dengan menentukan Faktor Perlindungan Arrester, namun sebelumnya perlu diketahui dahulu berapa Tingkat Perlindungannya. Untuk menentukan Tingkat Perlindungan Arrester bisa menggunakan persamaan :

Tingkat Perlindungan Arrester :

$$Tp = Ea \times 110 \% \quad (6)$$

Diketahui :

$$Ea = \text{Tegangan Kerja}$$

$$110 \% = \text{Faktor Toleransi}$$

Setelah didapatkan hasil dari perhitungan Tingkat Perlindungan Arrester, selanjutnya kita bisa menentukan berapa persentase dari Faktor Perlindungan nya dari persamaan :

Faktor Perlindungan :

$$Fp = \frac{TID \text{ Trafo} - TP}{TID \text{ Trafo}} \times 100\% \quad (7)$$

Diketahui :

$$\text{TID Trafo} = 650 \text{ kV}$$

$$\text{TP} = \text{Tingkat Perlindungan}$$

Selanjutnya menentukan jarak Optimum Penempatan Arrester dengan Trafo menggunakan persamaan berikut :

Jarak Maksimal :

$$S = \frac{Ep - Ea}{2 \cdot A} \times v \quad (8)$$

Diketahui :

$$S = \text{Jarak maksimal Arrester (m)}$$

$$Ep = \text{TID Trafo}$$

$$Ea = \text{Tegangan Kerja Arrester}$$

$$A = \text{Kecuraman Gelombang Datang}$$

$$v = \text{Kecepatan Rambat Gelombang}$$

Setelah didapatkan hasil berapa Jarak Optimum Penempatan nya maka yang terakhir yaitu menentukan berapa Tegangan Maksimum yang dapat diterima oleh Trafo dengan menggunakan persamaan berikut :

Tegangan Maksimum :

$$Ep = Ea + \frac{2 \cdot A \cdot S}{v} \quad (9)$$

Diketahui :

$$S = \text{Jarak maksimal Arrester (m)}$$

$$Ep = \text{TID Trafo}$$

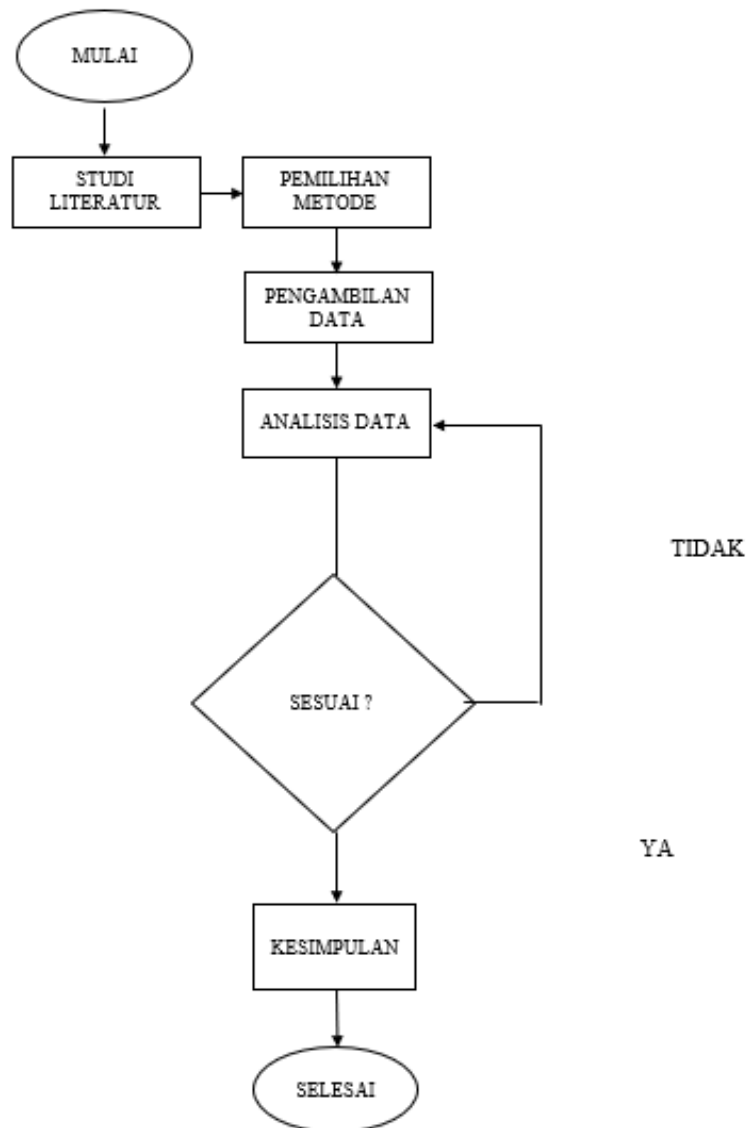
$$Ea = \text{Tegangan Kerja Arrester}$$

$$A = \text{Kecuraman Gelombang Datang}$$

$$v = \text{Kecepatan Rambat Gelombang}$$

Setelah selesai melakukan semua perhitungan maka langkah selanjutnya adalah menarik kesimpulan dari penelitian.

2.1 Flowchart Penelitian

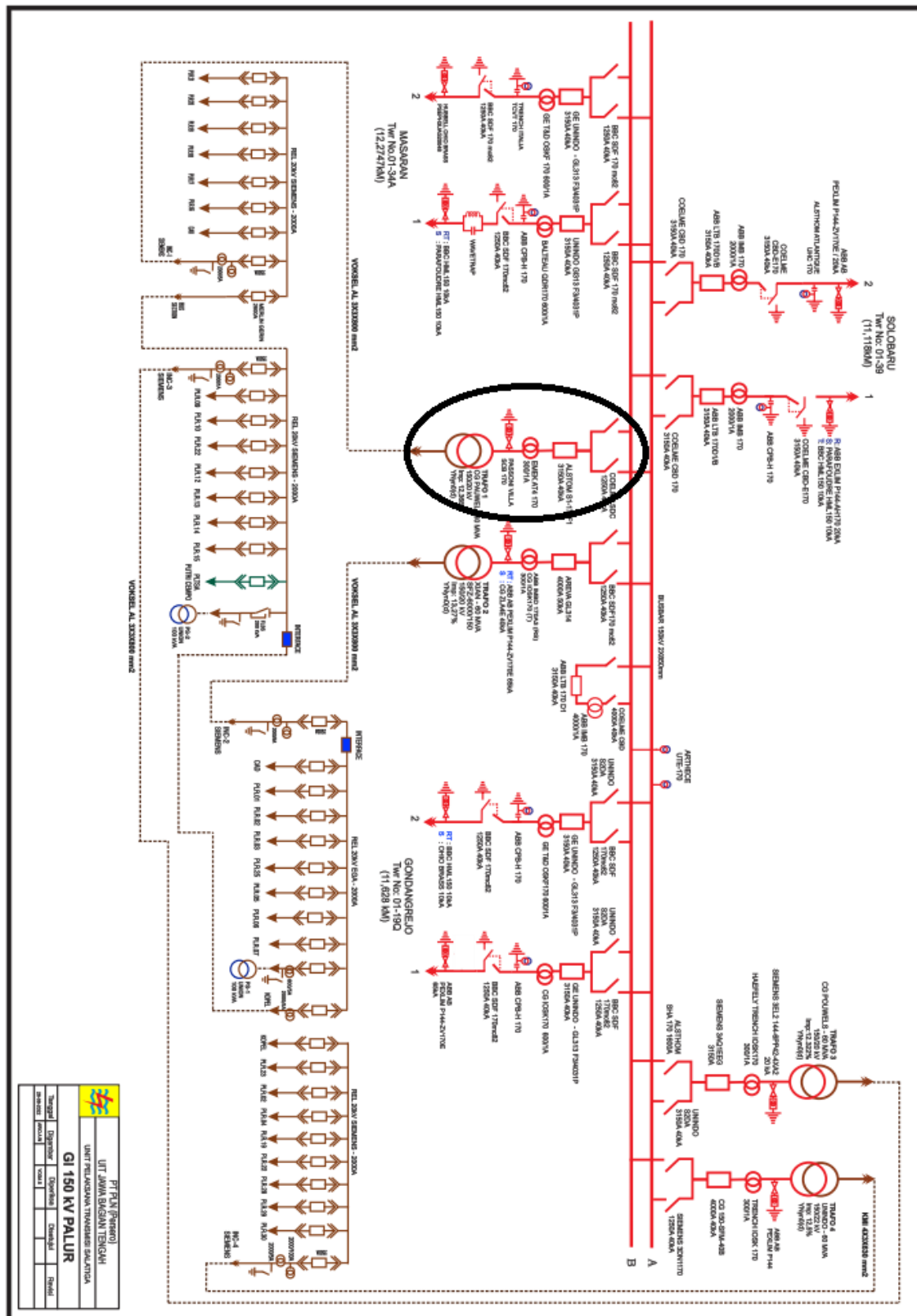


Gambar 1. Flowchart Penelitian

Dimulai dari studi literatur dari berbagai jurnal ilmiah, kemudian menentukan metode apa yang akan digunakan, jika sudah ditentukan metode apa yang akan digunakan baru akan dilakukan pengambilan data, data yang sudah didapatkan akan dianalisa sehingga didapatkan hasil apakah sudah sesuai dengan data lapangan. Jika sudah sesuai maka bisa ditarik kesimpulan.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Berikut ini adalah gambar Single Line Diagram Gardu Induk 150 kV Palur :



Gambar 2. Single Line Diagram Gardu Induk 150 kV Palur

Penelitian ini dilakukan dengan mengambil data Gardu Induk 150 kV Palur di Kantor PLN UPT. Salatiga Sub. Bagian Ases, Diagnosa dan Olah Data. Kemudian, dilakukan analisis data untuk mengetahui kemampuan kinerja dari Lightning Arrester pada Gardu Induk 150 kV Palur sebagai proteksi Tranformator dari Surja Petir.

3.1 Alat yang Diteliti

Transformator dan Lightning Arrester menjadi peralatan yang diteliti. Terdapat 5 tipe Lightning Arrester yang melindungi Trafo di Gardu Induk 150 kV Palur, namun dalam penelitian kali ini berfokus pada Trafo 1 yaitu tipe ORF.60/275 dengan merk CG Power. Trafo ini dilindungi oleh Lightning Arrester tipe SCB 170-120/150 dengan merk Passoni Villa.

Tabel 1. Spesifikasi Trafo

TRAFO	
Tipe	ORF.60/275
Merk	CG Power
Negara Produsen	Indonesia
Tahun Produksi	2011
TID	650 kV

Tabel 2. Spesifikasi Lightning Arrester

LIGHTNING ARRESTER	
Tipe	SCB 170-120/150
Merk	Passoni Villa
Negara Produsen	Italia
Tahun Produksi	2003
Tegangan Nominal	170 kV

3.2 Lightning Arrester

Lightning Arrester sendiri merupakan alat yang berfungsi untuk memproteksi jaringan dan peralatan pada sistem tenaga listrik terhadap gangguan yang terjadi karena surja petir dan surja hubung. Salah satu penggunaannya adalah untuk melindungi Tranformator Daya yang ada pada Gardu Induk. Lightning Arrester dapat berperan sebagai isolator ataupun konduktor tergantung dari kondisi yang terjadi. Dalam keadaan normal akan berperan sebagai isolator, namun saat terjadinya tegangan yg bersifat surja Arrester akan berperan sebagai konduktor yang mempunyai tahanan rendah. Hal tersebut berfungsi agar Arrester dapat menyalurkan arus surja ketanah, ketika arus sudah sepenuhnya tersalurkan ketanah maka harus cepat kembali berperan sebagai isolator. Kegagalan proteksi yang

terjadi sangat berpengaruh terhadap penentuan letak Lightning Arrester, maka dari itu penempatan Lightning Arrester harus berpedoman pada jarak aman antar arrester dengan trafo.

3.3 Karakteristik Arrester

Dibawah ini adalah Tabel Karakteristik Lightning Arrester, tabel ini berguna dalam menentukan tegangan pengenalan pada Lightning Arrester.

Tabel 3. Tabel Karakteristik Lightning Arrester

Rating Arrester (kV)	Kecuraman FOW (kV)	10 kA dan 5 kA	
		STD (kV)	FOW (kV)
54	450	195	224
60	500	216	250
75	625	270	310
84	700	302	347
96	790	324	371
102	830	343	394
108	870	363	418
120	940	400	463
126	980	420	483
138	1030	460	530
150	1080	500	577
174	1160	570	660
186	1180	610	702
198	1200	649	746

3.3.1 Tegangan Sistem Maksimum Arrester

Tegangan Sistem Maksimum

$$\begin{aligned}
 V \text{ Sistem Maksimum} &= V \text{ Nominal} + 110 \% \\
 &= 170 \times 1,1 \\
 &= 187 \text{ kV}
 \end{aligned}
 \tag{10}$$

Tegangan Pengenal Arrester

$$\begin{aligned}
 V \text{ Pengenal Arrester} &= \text{Tegangan Sistem Maksimum} \times 0,8 \\
 &= 187 \times 0,8 \\
 &= 149,6 \text{ kV}
 \end{aligned}
 \tag{11}$$

Dari perhitungan diatas didapatkan nilai Tegangan Pengenal Arrester sebesar 149,6 kV namun pada tabel karakteristik tidak ada nilai 149,6 kV, sehingga digunakan angka terdekat yaitu 150 kV dan dari tabel didapatkan tegangan kerjanya 500 kV.

3.3.2 Arus Pelepasan Arrester

Kemudian menentukan Arus Pelepasan Arrester, namun sebelumnya perlu diketahui dahulu berapa nilai Tegangan Puncak Arrester dan Impedansi Kawat menggunakan persamaan :

- a) Tegangan Puncak Arrester

$$\begin{aligned} V_{puncak} &= 1,2 \times TID \text{ Saluran} \\ &= 1,2 \times 750 \text{ kV} \\ &= 900 \text{ kV} \end{aligned} \tag{12}$$

- b) Impedansi Kawat

Jenis kawat penghantar yang digunakan pada menara SUTT 150 kV adalah tipe ACSR (*Aluminium Conductor Steel-Reinforced*) 240/40 mm², berdiameter 21,9 mm, dengan tinggi kawat penghantar paling atas 32 m. Dari spesifikasi tersebut impedansi kawat surja dapat ditentukan dengan persamaan berikut :

$$Z_s = 60 \ln \frac{2h}{r} \tag{13}$$

Diketahui :

$$\begin{aligned} Z_s &= \text{Impedansi Kawat} \\ h &= \text{Tinggi Kawat Penghantar} = 32 \text{ m} \\ r &= \text{Jari-jari Konduktor Kawat} = \frac{d}{2} \\ r &= \frac{21,9}{2} \\ &= 10,95 \text{ mm} \end{aligned}$$

Dengan demikian :

$$\begin{aligned} Z_s &= 60 \ln \frac{2 \times 32}{10,95 \times 10^{-3}} \\ &= 382 \Omega \end{aligned}$$

- c) Arus Pelepasan Arrester

Dengan menentukan Arus Pelepasan Arrester maka dapat ditentukan pula kelas dari Arrester.

Berikut persamaannya :

$$I_a = \frac{2U_d - E_a}{Z_s} \tag{14}$$

Diketahui :

$$\begin{aligned} I_a &= \text{Arus Pelepasan Arrester} \\ U_d &= \text{Tegangan Puncak} = 900 \text{ kV} \\ E_a &= \text{Tegangan Kerja} = 500 \text{ kV} \\ Z_s &= \text{Impedansi Kawat} = 382 \Omega \end{aligned}$$

Dengan demikian :

$$I_a = \frac{2 \times 900 - 500}{382} \\ = 3,4 \text{ kA}$$

Didapatkan hasil arus yang mengalir pada Arrester adalah 3,4 kA, maka pemilihan kelas arus pada 10 kA sudah baik.

d) Faktor Perlindungan Arrester

Tingkat Perlindungan Arrester perlu diketahui terlebih dahulu sebelum menentukan Faktor Perlindungan Arrester, menggunakan persamaan berikut :

$$T_p = E_a \times 110 \% \quad (15)$$

Diketahui :

T_p = Tingkat Perlindungan Arrester

E_a = Tegangan Kerja 500 kV

Sehingga :

$$T_p = 500 \times 110 \%$$

$$T_p = 500 \times 1,1$$

$$T_p = 550 \text{ kV}$$

Jadi Factor Perlindungannya dapat ditentukan melalui persamaan dibawah :

$$F_p = \frac{TID \text{ Trafo} - T_p}{TID \text{ Trafo}} \times 100\% \quad (16)$$

Diketahui :

F_p = Faktor Perlindungan

TID Trafo = 650 kV

TP = Tingkat Perlindungan 550 kV

Sehingga :

$$F_p = \frac{650 - 550}{650} \times 100\%$$

$$F_p = 15,4 \%$$

Nilai persentase yang diperoleh dari perhitungan menghasilkan 15,4 % lebih rendah dari TID Transformator yang diproteksi. Nilai tersebut dibawah nilai kategori aman yaitu 20 %.

3.4 Pengujian Tahanan Isolasi Lightning Arrester

Lightning Arrester berperan besar dalam melindungi Trafo dari gangguan Surja Petir, sehingga sangat penting untuk dilakukan pengujian untuk mengetahui apakah *Lightning Arrester* masih aman sebagai alat proteksi Trafo. Alat uji yang digunakan dalam pengujian ini adalah Megger (Mega Ohm Meter). Prinsip kerja dari alat ini mirip dengan Ohm Meter, yaitu isolasi peralatan diberikan tegangan dari alat uji, semakin tinggi resistansi yang diukur maka semakin tinggi juga tegangan

yang dibutuhkan untuk mengalirkan arus. Tegangan Uji yang diterapkan dalam pengujian ini adalah 1 kV / 1 MΩ yang mengacu pada standar IEEE 43-2000. Apabila hasil pengujian menunjukkan nilai >150.000 MΩ maka pengujian dianggap baik. Pengujian terakhir kali pada Lightning Arrester yang diteliti dilakukan pada tanggal 9 Februari 2022 yang lalu. Hasil Pengujian Tahanan Isolasi Lightning Arrester dapat dilihat pada tabel dibawah :

Tabel 4. Hasil Pengujian pada bay Trafo 1

Fasa R		
Titik	Standard	Hasil (M Ohm)
Atas – Bawah	1 kV / 1 MΩ	241.000
Atas – Ground	1 kV / 1 MΩ	225.000
Bawah - Ground	1 kV / 1 MΩ	41.000
Fasa S		
Titik	Standard	Hasil (M Ohm)
Atas – Bawah	1 kV / 1 MΩ	344.000
Atas – Ground	1 kV / 1 MΩ	351.000
Bawah - Ground	1 kV / 1 MΩ	6.300
Fasa T		
Titik	Standard	Hasil (M Ohm)
Atas – Bawah	1 kV / 1 MΩ	330.000
Atas – Ground	1 kV / 1 MΩ	360.000
Bawah - Ground	1 kV / 1 MΩ	2.900

3.5 Menentukan Jarak Optimum Penempatan Arrester

3.5.1 Menentukan Jarak Maksimal

Untuk menentukan Jarak Maksimal antara Lightning Arrester dan Transformator yang diproteksi, diperlukan beberapa hal yang harus diketahui seperti TID, Tegangan Kerja Arrester, Kecuraman Gelombang Datang dan Kecepatan Rambat Gelombang. Pada perhitungan kali ini disimulasikan jika nilai (A) 1000 kV/μ sekon dan (v) 300 m/μ sekon. Kemudian ditentukan dengan persamaan sebagai berikut :

$$S = \frac{Ep-Ea}{2 \cdot A} \times v \quad (17)$$

Diketahui :

S = Jarak maksimal Arrester (m)
 E_p = TID 650 kV
 E_a = Tegangan Kerja Arrester 500 kV
 A = Kecuraman Gelombang Datang 1000 kV/ μ sekon
 v = Kecepatan Rambat Gelombang 300 m/ μ sekon

Sehingga :

$$S = \frac{650-500}{2 \times 1000} \times 300$$

$$S = \frac{150}{2000} \times 300$$

$$S = 0,075 \times 300$$

$$S = 22,5 \text{ m}$$

Didapatkan hasil bahwa jarak maksimal antar Lightning Arrester dan Transformator sejauh 22,5 meter, sedangkan dilapangan jarak yang terpasang sejauh 3 meter. Sehingga masih sangat jauh dibawah jarak maksimal 22,5 meter.

3.5.2 Menentukan Tegangan Maksimum yang dapat diterima

Menggunakan Persamaan :

$$E_p = E_a + \frac{2 \cdot A \cdot S}{v} \quad (18)$$

Diketahui :

S = Jarak maksimal Arrester (m)
 E_p = TID 650 kV
 E_a = Tegangan Kerja Arrester 500 kV
 A = Kecuraman Gelombang Datang 1000 kV/ μ sekon
 v = Kecepatan Rambat Gelombang 300 m/ μ sekon

Sehingga :

$$\begin{aligned}
 650 &= 500 + \frac{2 \cdot 1000 \cdot 22,5}{300} \\
 &= 500 + \frac{45000}{300} \\
 &= 500 + 150 \\
 &= 650 \text{ kV}
 \end{aligned}$$

Dari perhitungan diatas didapatkan nilai tegangan maksimum yang dapat diterima adalah 650 kV, nilai itu sama persis dengan nilai TID Trafo yaitu 650 kV. Maka Lightning Arrester masih mampu melindungi Transformator dari gangguan Surja Petir.

4. PENUTUP

Setelah dilakukan analisa dan perhitungan, maka didapatkan beberapa kesimpulan yaitu: Didapatkan hasil arus yang mengalir pada Arrester sebesar 3,4 kA. Maka pemilihan kelas arus pada 10 kA sudah baik. Persentase Faktor Perlindungan yang didapatkan yaitu 15,4 % lebih rendah dari TID Transformator yang diproteksi. Nilai tersebut dibawah nilai kategori aman yaitu 20 %. Mungkin hal ini bisa terjadi karna faktor usia Lightning Arrester yang sudah masuk kategori Tua, karena sudah dipasang dari tahun 2003.

Dari hasil pengujian Tahanan Isolasi Arrester, didapatkan ada beberapa nilai yang $<150.000 \text{ M}\Omega$ dimana seharusnya bisa dikatakan baik jika $>150.000 \text{ M}\Omega$. Titik ukur yang nilai diketiga fasanya yaitu R, S dan T dibawah standar adalah titik ukur Bawah – Ground. Mungkin hal ini bisa terjadi karna faktor usia Lightning Arrester yang sudah masuk kategori Tua, karena sudah dipasang dari tahun 2003. Saran dari penulis, mungkin bisa dilakukan peremajaan alat agar pengamanan dapat lebih optimal.

Dari hasil analisa perhitungan, diperoleh jarak Maksimal Penempatan antara Lightning Arrester dan Transformator yang dilindungi sejauh 22,5 meter, sedangkan jarak penempatan dilapangan sejauh 3 meter. Jadi, masih jauh dibawah jarak maksimal. Dari hasil perhitungan, didapatkan nilai tegangan maksimum yang dapat diterima adalah 650 kV, nilai itu sama persis dengan nilai TID Trafo yaitu 650 kV. Maka Lightning Arrester masih mampu memberikan proteksi pada Transformator dari gangguan Surja Petir.

PERSANTUNAN

Dalam mengerjakan Tugas akhir ini, banyak yang telah memeberikan dukungannya kepada penulis sehingga dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini. Maka penulis mengucapkan terimakasih kepada: Allah SWT yang telah memberikan kesehatan, kelancaran, kekuatan, Hidayah dan Inayah-Nya kepada penulis. Sehingga mampu untuk menyelesaikan Tugas Akhir ini. Bapak Sujono dan Ibu Supriyati selaku orang tua yang tidak henti-hentinya memberikan dukungan doa, semangat, motivasi, arahan dan nasihatnya. Ibu Ratnasari Nur Rohmah selaku Dosen Pembimbing yang sudah selalu sabar dalam memberikan bimbingan, dan dukungannya dalam pengerjaan tugas akhir ini. Semua Dosen Teknik Elektro yang telah memberikan ilmunya selama 4 tahun ini. Rekan-rekan kontrakan Dandi, Raka, Prima, Wahyu, Malik, Jidil, Feby, Aan, Fahmi dan Yusuf. Seluruh rekan-rekan angkatan Teknik Elektro 2016 dan Robot Research UMS.

DAFTAR PUSTAKA

Kurniawan , David. 2018. Analisa Optimasi Penentuan Letak Optimum Lightning Arrester Pada Gardu Induk Wonogiri 150 kV. dalam *Other Thesis*. Surakarta: Program Studi Teknik

Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Muhammdiyah Surakarta.

- Putra, Izzan Zulda De Purwadi. 2019. "Analisis Pemeliharaan Dan Penempatan Lightning Arrester Bay Bawen 2 Gardu Induk 150 kV Klaten". dalam *Other Thesis*. Surakarta: Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Muhammdiyah Surakarta.
- Hidayatulloh, Nurul. 2009. Kemampuan Arester Untuk Pengaman Tranformator Pada Gardu Induk Sron dol 150 kV. dalam *Other Thesis*. Semarang: Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Semarang.
- Wiryan, Habib Yogi, M. Saleh Al – Amin dan Emidiana. 2021. Kemampuan Arrester Sebagai Pengaman Transformator di PT. PLN (Persero) Gardu Induk Keramasan. Dalam *Jurnal Tekno (Civil Engineering, Electrical Engineering and Industrial Engineering)* Vol. 16, No : 1 Palembang: Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas PGRI Palembang.
- IEEE Standard 43-2000. IEEE Recommended Practice for Testing Insulation Resistance of Roating Machinery. New York: Institut of Eelctrical and Eletronics Eginers, Inc., 2000.
- Hosseini, Sayed Ahmad and Taghi Barforoshi. 2015. Impact of Surge Number and Placement on Reliability and Lightning Overvoltaged Level in High Voltage Substantion. *International Journal of Electrical Power & Energy System*, Volume 65.
- Manihuruk, Jonner, Toga Simorangkir dan Novrin L. Sitanggang. 2021. Studi Kemampuan Arrester Untuk Pengamanan Transformator Pada Gardu Induk Tanjung Morawa 150 kV. Dalam *Electric Power, Telecommunications & Control System – ELPOTECS Jurnal* Vol. 4, No. 1. Nommensen: Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas HKBP Nommensen.