

Analisis Pemasangan Arrester Pada Gardu Distribusi Penyulang Johan Pahlawan ULP Meulaboh Kota

Teuku Mahmuda Rahmat Rezki¹⁾, Muliadi^{2*)}, Syukri³⁾

^{1, 2, 3)} Program Studi Teknik Elektro Universitas Iskandar Muda
Jl. Kampus UNIDA, Surien, Meuraxa, Kota Banda Aceh, Aceh 23234

*Corresponding author E-mail: muljadi.tripa@gmail.com

ABSTRACT

In the power generation system of PT. PLN (Persero) Meulaboh Area has an important element in supplying electricity, namely the distribution network system. The component that is most susceptible to lightning disturbances in the distribution network is the transformer, so lightning arresters are needed, namely arresters. Arrester on distribution transformer PT. PLN (Persero) ULP Meulaboh Kota functions to catch and secure transformers from lightning surge disturbances and provide protection to transformers from overvoltage. The problems raised in this study are how far the arresters are installed with the equipment found in the Johan Pahlawan ULP Meulaboh feeder distribution substation, and how the work characteristics of the arresters in protecting the transformer at the Johan Pahlawan ULP Meulaboh City feeder distribution substation. The main objectives of this research are to obtain the distance between the arresters and the equipment found at the Johan Pahlawan ULP Meulaboh City feeder distribution substation and to determine the working characteristics of the arresters in protecting the transformer at the Johan Pahlawan ULP Meulaboh feeder distribution substation. The method used is to make direct observations of the field and collect data, as well as perform calculations using a systematic formula. The result is that the maximum distance between the arrester and the transformer corresponds to the working characteristics of the arrester of 0.66 meters with the protection distance from the protected equipment being 4.86 meters, 12.36 meters, 21.36 meters, 27.36 meters, 34.86 meters. The distance between the arresters and the transformer is 0.99 meters. The distance of protection from the protected equipment is 3.54 meters, 11.04 meters, 20.04 meters, 2.595 meters, and 33.54 meters, so the placement and connection of arresters are still in good condition. The arrester protection factor is influenced by the size of the working voltage of the transformer where the arrester protection factor for a good transformer is at least 20% of TID.

Keywords: Distribution network, Protection factor, Distribution transformer, Lightning surge, Arrester

ABSTRAK

Pada sistem pembangkit tenaga listrik PT. PLN (Persero) Area Meulaboh memiliki elemen penting dalam menyuplai tenaga listrik, yaitu sistem jaringan distribusi. Komponen yang paling rentan terkena gangguan petir pada jaringan distribusi adalah trafo, maka diperlukan penangkal petir, yaitu arrester. Arrester pada trafo distribusi PT. PLN (Persero) ULP Meulaboh Kota berfungsi untuk menangkap dan mengamankan trafo dari gangguan surja petir dan memberikan proteksi pada trafo dari tegangan lebih. Permasalahan yang diangkat pada penelitian ini adalah berapa jarak pemasangan arrester dengan peralatan yang terdapat pada gardu distribusi penyulang Johan Pahlawan ULP Meulaboh, dan bagaimana karakteristik kerja arrester dalam memproteksi trafo pada gardu distribusi penyulang Johan Pahlawan ULP Meulaboh Kota. Yang menjadi tujuan utama dari penelitian ini adalah, untuk mendapatkan jarak pemasangan arrester dengan peralatan yang terdapat pada gardu distribusi penyulang Johan Pahlawan ULP Meulaboh Kota, dan untuk mengetahui karakteristik kerja arrester dalam memproteksi trafo pada gardu distribusi penyulang Johan Pahlawan ULP Meulaboh. Metode yang digunakan yaitu dengan melakukan observasi langsung kelapangan dan pengumpulan data, serta melakukan perhitungan dengan formula sistematis. Hasilnya jarak maksimum arrester terhadap transformator sesuai dengan karakteristik kerja arrester 0,66 meter dengan jarak perlindungan dari peralatan yang dilindungi adalah 4,86 meter, 12,36 meter, 21,36 meter, 27,36 meter, 34,86 meter. Jarak penempatan arrester terhadap trafo 0,99 meter. Dengan jarak perlindungan dari peralatan yang dilindungi adalah 3,54 meter, 11,04 meter, 20,04 meter, 2,595 meter, 33,54 meter, sehingga penempatan dan penyambungan arrester masih dalam kondisi yang baik. Faktor perlindungan arrester sampai dipengaruhi oleh besar kesilnya tegangan kerja trafo dimana faktor perlindungan arrester terhadap trafo yang baik minimal 20% dari TID.

Kata Kunci: Jaringan distribusi, Faktor perlindungan, Trafo distribusi, Surja petir, Arrester

I. PENDAHULUAN

Pada masa sekarang, listrik sudah menjadi kebutuhan penting agar dapat menunjang kehidupan masyarakat dalam berbagai keperluan baik rumah tangga, perkantoran, perhotelan, dan industri. Untuk itu membutuhkan suplai energi listrik yang baik dan sesuai dengan kebutuhan pelanggan atau konsumen listrik [1]. Penyaluran energi listrik dalam hal ini Perusahaan Listrik Negara (PLN) memerlukan pembangkit sebagai penghasil energi listrik dan juga jaringan transmisi serta jaringan distribusi sebagai penyuplai energi listrik agar sampai kepada pelanggan atau konsumen listrik. Selain itu, penyaluran energi listrik juga membutuhkan beberapa komponen pendukung lainnya seperti alat proteksi, transformator, dan lain sebagainya [2].

Transformator atau trafo dapat didefinisikan sebagai alat untuk menaikkan dan menurunkan tegangan. Transformator merupakan salah satu peralatan yang sangat vital dalam menunjang tersalurkannya energi listrik ke pelanggan listrik akan tetapi sangat rawan terhadap gangguan yang terjadi. Adapun beberapa gangguan yang dimaksud antara lain gangguan hubung singkat, kegagalan isolasi, kurangnya pemeliharaan, kegagalan proteksi, dan akibat dari sambaran petir atau surja petir [3][4][5]. Salah satu faktor utama yang menyebabkan gangguan pada proses penyaluran energi listrik, yaitu surja petir.

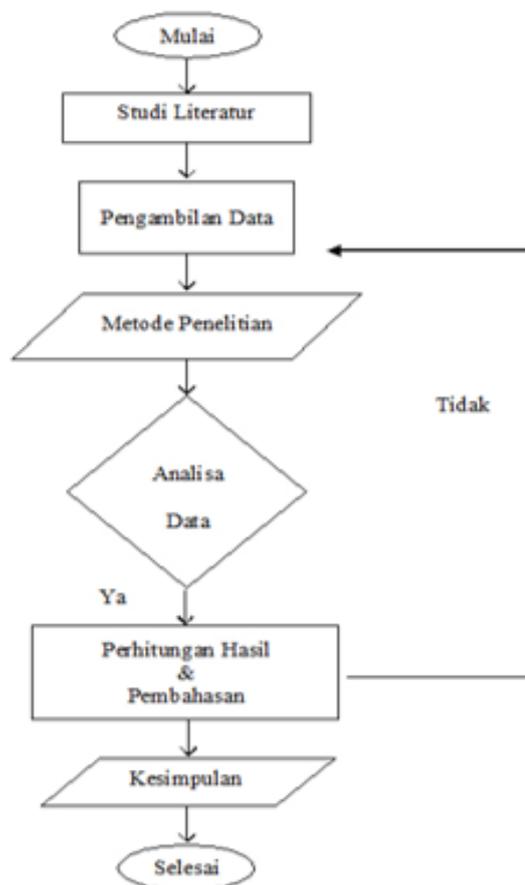
Surja petir merupakan peristiwa yang timbul akibat adanya sambaran petir terhadap suatu benda di bumi dan dapat menimbulkan arus serta tegangan yang tinggi sehingga menyebabkan rusaknya benda atau peralatan listrik [6]. Oleh sebab itu, untuk dapat mengantisipasi terjadinya gangguan pada trafo yang disebabkan oleh surja petir maka diperlukan suatu alat pengaman yang dapat melindungi trafo, yaitu *Lightning Arrester* (LA) atau lebih dikenal dengan nama Arrester [7][8]. Arrester berfungsi sebagai media untuk tegangan surja petir agar dapat mengalirkan aliran surja petir ketanah juga sebagai jalan pintas (*by-pass*) yang berada di sekitar isolasi [9][10]. Media tersebut harus dirancang sedemikian rupa sehingga tidak mengganggu aliran arus pada frekuensi 50 Hz seperti yang dilakukan PT. PLN (Persero) ULP Meulaboh Kota.

Berdasarkan hasil observasi di lapangan, permasalahan yang sering terjadi pada penyulang Johan Pahlawan ULP Meulaboh Kota yaitu sering mengalami gangguan yang disebabkan oleh alam, salah satunya gangguan petir. Agar dapat meminimalisir gangguan akibat petir maka perlu adanya pemasangan arrester dengan jarak yang sesuai terhadap peralatan yang terdapat pada gardu distribusi. Oleh sebab itu perlu meningkatkan pengamanan dan mengatur jarak arrester yang sesuai agar kinerja arrester menjadi lebih baik dan dapat meminimalisir gangguan ketika terjadi sambaran petir. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mendapatkan jarak pemasangan arrester dengan peralatan dan untuk mengetahui karakteristik kerja arrester dalam memproteksi trafo pada gardu distribusi penyulang Johan Pahlawan ULP Meulaboh.

Adapun manfaat dari penelitian ini adalah agar kinerja arrester menjadi lebih baik dan handal dalam memproteksi trafo untuk mencegah kerusakan pada peralatan gardu distribusi penyulang Johan Pahlawan ULP Meulaboh Kota akibat sambaran petir.

II. METODE

Penelitian ini dilakukan di PT. PLN (Persero) ULP Meulaboh Kota yang berlokasi di Jl. Swadaya, Drien Rampak, Kec. Johan Pahlawan, Kabupaten Aceh Barat, Aceh. Adapun tahapan penelitian yaitu pengambilan data, metode analisis, hasil dan pembahasan, serta kesimpulan. Untuk mempermudah proses penulisan pada penelitian ini maka penulis membuat alir penelitian seperti pada Gambar 1 berikut:



Gambar 1. Diagram alir penelitian

A. Metode Analisis

Pada penelitian ini ada beberapa langkah sistematis perhitungan yang akan digunakan untuk menentukan tegangan pengenal *arrester*, menentukan faktor perlindungan *arrester*, menentukan jarak pemasangan *arrester* dan menentukan jarak perlindungan dari peralatan yang dilindungi pada gardu distribusi penyulang Johan Pahlawan ULP Meulaboh Kota. Berikut ini adalah formula yang digunakan untuk menghitung resiko sambaran petir, yaitu:

1. Kepadatan sambaran petir ke tanah (F_G) [9]

$$F_G = 123, 10^{-4} x(p)^{0,563} \times (\text{Jumlah hari guruh})^{0,33} \text{ sambaran/ km}^2 \text{ tahun} \quad (1)$$

Dimana :

p = Curah hujan rata-rata

2. Arus puncak petir (\hat{i})

$$\hat{i} = 29,5143 \times F_G^{0,3} \times e^{(-0,00414 \times L_i) \times (-0,00024 \times A)} \quad (2)$$

Dimana:

FG = Kepadatan sambaran petir ke tanah

A = Ketinggian awan terendah

3. Kecuraman maksimum arus petir

$$\left(\frac{di}{dt}\right) = 1,2358x\hat{i}^{0,7042} \quad (3)$$

Dimana :

\hat{i} = Arus puncak petir

Selanjutnya, menghitung kecuraman muka gelombang tegangan petir dengan menghitung:

1. Andogan (D)

$$D = \frac{WxS^2}{8xT} \quad (4)$$

Dimana :

W = Berat penghantar persatuan panjang (daN/m)

S = Jarak gawang (m)

T = Komponen horizontal dari tegangan penghantar (daN)

2. Tinggi rata-rata kawat konduktor diatas tanah (h)

$$h = ht - \frac{2}{3} \text{ andongan} \quad (5)$$

Dimana :

h = Tinggi rata-rata kawat konduktor diatas tanah (m)

r = Jari-jari kawat konduktor (m)

3. Perhitungan nilai induktansi (L)

$$L = 2x10^{-7} \ln \frac{2h}{r} \quad (6)$$

Dimana :

h = Tinggi rata-rata kawat konduktor diatas tanah (m)

r = Jari-jari kawat konduktor (m)

4. Perhitungan nilai kapasistansi (C)

$$C = \frac{10^{-9}}{18 \ln \frac{2h}{r}} \quad (7)$$

Dimana :

h = Tinggi rata-rata kawat konduktor diatas tanah (m)

r = Jari-jari kawat konduktor (m)

5. Impedansi surja saluran (Z)

$$Z_c = \sqrt{\frac{L}{C}} \quad (8)$$

Dimana :

L = Induktansi

C = Kapasitansi

6. Perhitungan kecuraman muka gelombang $\left(\frac{du}{dt}\right)$

$$\left(\frac{du}{dt}\right) = \frac{1}{2} x Z x Z \frac{di}{dt} \quad (9)$$

Dimana :

Z = Impedansi surja saluran (ohm)

$\left(\frac{du}{dt}\right)$ = Nilai kecuraman arus petir (kA/ μ s)

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Perhitungan Nilai Tegangan Pengenal Lightning Arrester

Berikut ini adalah perhitungan nilai tegangan pengenal *arrester* dengan sistem pentanahan yang digunakan di gardu JPH 056-00 adalah sistem pentanahan langsung, sehingga koefisien pentanahannya 0,8. Nilai tegangan pengenal *arrester* dapat dihitung sebagai berikut:

$$\begin{aligned} U_a &= \text{Tegangan fasa ke fasa} \times 110\% \times 0,8 \\ &= 20 \times 110\% \times 0,8 \\ &= 20 \times 1,1 \times 0,8 \\ &= 17,6 \text{ kV} \end{aligned}$$

Jadi, besar tegangan pengenal pada *arrester* di gardu JPH 056-00 didapatkan sebesar 17,6 kV.

B. Perhitungan Nilai Kecuraman Arus Petir

Dalam perhitungan penentuan jarak maksimal proteksi *lightning arrester* (L), maka terlebih dahulu harus diketahui nilai (du/dt) , yaitu dengan mengetahui nilai (di/dt) . Berikut ini adalah proses perhitungan sehingga mendapatkan nilai (di/dt) . Sebelumnya dilakukan perhitungan nilai kepadatan petir ke tanah per km² per tahun. Perhitungan resiko sambaran petir pada saluran udara tegangan menengah pada koordinat 95° 86' 30" dengan ketinggian awan terendah (A) 600 meter, jumlah hari guruh rata-rata (IKL) 506,00 hari/tahun, dan curah hujan rata-rata (P) adalah 209,80 mm/tahun. Dilakukan perhitungan nilai kepadatan petir ke tanah per km² per tahun sebagai berikut:

$$\begin{aligned} F_G &= 123. 10^{-4} \times (p)^{0,563} \\ &\quad \times (\text{jumlah hari guruh})^{0,33} \text{ sambaran} \\ &\quad \text{/km}^2 \text{ tahun} \end{aligned}$$

diketahui nilai curah hujan rata-rata (p), yaitu sebesar 209,80 mm/tahun, maka kepadatan sambaran petir ke tanah didapatkan:

$$\begin{aligned} F_G &= 123. 10^{-4} \times (209,80)^{0,563} \\ &\quad \times (506,00)^{0,33} \text{ sambaran/km}^2 \text{ tahun} \end{aligned}$$

$$F_G = 123. 10^{-4} \times 20,285 \times 7,804 \text{ sambaran/km}^2 \text{ tahun}$$

$$F_G = 123. 10^{-4} \times 158,304 \text{ sambaran/km}^2 \text{ tahun}$$

$$F_G = 19.471,392 \times 10^{-4} \text{ sambaran/km}^2 \text{ tahun}$$

$$F_G = 1,947 \text{ sambaran/km}^2 \text{ tahun}$$

Selanjutnya, arus puncak petir (\hat{i}) dapat dihitung dengan mengetahui:

$$L_i = 95^0 86' 30" LS$$

$$= 95 \text{ jam} + \left(\frac{86}{60}\right) \text{ jam} + \left(\frac{30}{3600}\right) \text{ jam}$$

$$= 96,438 \text{ jam}$$

Sehingga diperoleh:

$$\hat{i} = 29,5143 \times F_G^{0,3}$$

$$\times e^{(-0,00414 \times L_i) \times (-0,00024 \times A)}$$

$$\hat{i} = 29,5143 \times 1,947^{0,3}$$

$$\times e^{((-0,00414 \times 96,438) \times (-0,00024 \times 600))} \text{ kA}$$

$$= 29,5143 \times 1,248 \times 0,057 \text{ kA}$$

$$= 2,099 \text{ kA}$$

Setelah didapatkan nilai arus puncak petir, maka nilai kecuraman arus petir maksimum (di/dt) didapatkan:

$$\left(\frac{di}{dt}\right) = 1,2358 \times \hat{i}^{0,7042} \text{ kA}/\mu\text{s}$$

$$= 1,2358 \times 2,099^{0,7042} \text{ kA}/\mu\text{s}$$

$$= 2,083 \text{ kA}/\mu\text{s}$$

C. Perhitungan Nilai Kecuraman Muka Gelombang

Pada tahapan ini, untuk mendapatkan nilai kecuraman muka gelombang, maka dilakukan:

- 1) Perhitungan nilai andongan (D)
Diketahui berat penghantar 0,640 daN/m, jarak gawang 50 m, dan komponen horizontal 313,11 daN dari tegangan penghantar, sehingga nilai andongan (D) dapat dihitung sebagai berikut.

$$D = \frac{W \times S^2}{8 \times T}$$

$$= \frac{0,640 \times 50^2}{8 \times 313,11}$$

$$= \frac{1.600}{2.504,88}$$

$$= 0,638 \text{ meter}$$

- 2) Perhitungan tinggi rata-rata kawat konduktor tanpa kawat tanah di atas tanah
Setelah didapatkannya nilai andongan (D) maka nilai dari tinggi rata-rata kawat konduktor tanpa kawat tanah di atas tanah (h) dapat dihitung dengan nilai ht = 11 meter dan jari-jari kawat konduktor (r) r = 11 m, sehingga diperoleh:

$$h = h_t - \frac{2}{3}D$$

$$= 11 - \frac{2}{3} \times 0,638$$

$$= 10,574 \text{ meter}$$

- 3) Perhitungan nilai induktansi
Didapatkannya nilai dari tinggi rata-rata kawat diatas tanah maka nilai dari induktansi diperoleh sebagai berikut:

$$L = 2 \times 10^{-7} \ln \frac{2 \times h}{r}$$

$$= 2 \times 10^{-7} \ln \frac{2 \times 10,574}{11}$$

$$= 2 \times 10^{-7} \ln \frac{21,148}{11}$$

$$= 2 \times 10^{-7} \times 1,922$$

$$= 1,306 \times 10^{-7} \text{ H/m}$$

- 4) Perhitungan nilai kapasitansi
Untuk mendapatkan nilai kapasitansi, maka:

$$C = \frac{10^{-9}}{18 \ln \frac{2h}{r}}$$

$$= \frac{10^{-9}}{18 \ln \frac{2 \times 10,574}{11}}$$

$$= \frac{10^{-9}}{18 \ln \frac{21,148}{11}}$$

$$= 8,499 \times 10^{-11} \text{ F/m}$$

- 5) Perhitungan impedansi surja hubung
Sesuai hasil pengamatan di lapangan, penghantar yang digunakan adalah penghantar saluran udara. Maka rumus impedansi surja hubung adalah sebagai berikut.

$$Z = \sqrt{\frac{L}{C}}$$

$$= \sqrt{\frac{1,307 \times 10^{-7}}{8,499 \times 10^{-11}}}$$

$$= 39,215 \text{ ohm}$$

- 6) Perhitungan kecuraman muka gelombang
Setelah didapatkan nilai dari impedansi surja hubung (Z) dan kecuraman maksimum arus petir (di/dt) maka nilai dari kecuraman muka gelombang, yaitu:

$$\frac{du}{dt} = \frac{1}{2} \times Z \times \frac{di}{dt}$$

$$= \frac{1}{2} \times 39,215 \times 2,083$$

$$= 40,842 \text{ kV}/\mu\text{s}$$

D. Perhitungan Jarak Proteksi Maksimal Arrester dengan Trafo

Perhitungan jarak proteksi maksimal arrester dengan transformator dilakukan bertujuan untuk mengetahui pada jarak berapa Lightning Arrester mampu memproteksi peralatan yang dilindunginya dalam hal ini transformator, maka:

$$l = \frac{U_t - U_a}{2 \frac{du}{dt}} V$$

$$= \frac{160 - 17,6}{2 \times 40,842} 300 \text{ m}/\mu\text{s}$$

$$= 522,991 \text{ meter}$$

1. Menentukan jarak penempatan arrester dengan trafo, diketahui tegangan 20 kV, rambat gelombang pada kawat sebesar 300 m/s, dan kecuraman gelombang (du/dt) 1000 kV/ μ s, maka didapatkan:

Tegangan pengenalan arrester

$$U_a = \text{Tegangan fasa ke fasa} \times 110\%$$

$$\quad \times \text{Koefisien pentanahan}$$

$$= 20 \times 110\% \times 0,8$$

$$= 17,6 \text{ kV}$$

Tegangan pengenalan arrester

$$V_{max} = V_{nom} \times 1,1$$

$$= 20 \times 1,1$$

$$= 22 \text{ kV}$$

Menentukan jarak penempatan arrester

$$l = \frac{U_t - U_a}{2 \frac{du}{dt}} V$$

$$= \frac{22 - 17,6}{2 \times 1000} 300$$

$$= \frac{4,4}{2000} 300$$

$$= 0,0022 \times 300$$

$$= 0,66 \text{ meter}$$

Kemudian menentukan jarak perlindungan arrester dengan peralatan yang dilindungi berdasarkan asumsi penggunaan kapasitas trafo daya 50 kVA, 100 kVA, 160 kVA, 200 kVA, dan 250 kVA, maka diketahui kecuraman gelombang sebesar 1000 kV/ μ s, rambat gelombang pada kawat sebesar 300 m/s, maka didapatkan sebagai berikut:

- a. Trafo daya 50 kVA

$$l = \frac{U_t - U_a}{2 \frac{du}{dt}} V$$

$$l = \frac{50 - 17,6}{2 \times 1000} 300$$

$$= \frac{32,4}{2000} 300$$

$$= 0,0162 \times 300$$

$$= 4,86 \text{ meter}$$

- b. Trafo daya 100 kVA

$$l = \frac{U_t - U_a}{2 \frac{du}{dt}} V$$

$$l = \frac{100 - 17,6}{2 \times 1000} 300$$

$$= \frac{82,4}{2000} 300$$

$$= 0,0412 \times 300$$

$$= 12,36 \text{ meter}$$

- c. Trafo daya 160 kVA

$$l = \frac{U_t - U_a}{2 \frac{du}{dt}} V$$

$$l = \frac{160 - 17,6}{2 \times 1000} 300$$

$$= \frac{142,4}{2000} 300$$

$$= 0,0712 \times 300$$

$$= 21,36 \text{ meter}$$

- d. Trafo daya 200 kVA

$$l = \frac{U_t - U_a}{2 \frac{du}{dt}} V$$

$$l = \frac{200 - 17,6}{2 \times 1000} 300$$

$$= \frac{182,4}{2000} 300$$

$$= 0,0912 \times 300$$

$$= 27,336 \text{ meter}$$

- e. Trafo daya 250 kVA

$$l = \frac{U_t - U_a}{2 \frac{du}{dt}} V$$

$$l = \frac{250 - 17,6}{2 \times 1000} 300$$

$$= \frac{232,4}{2000} 300$$

$$= 0,1162 \times 300$$

$$= 34,86 \text{ meter}$$

2. Menentukan jarak penempatan *lightning arrester* dengan trafo, dengan tegangan 30 kV, rambat gelombang pada kawat sebesar 300 m/s, dan kecuraman gelombang ($\frac{du}{dt}$) 1000 kV/ μ s dihitung dengan persamaan sebagai berikut:

Tegangan pengenalan arrester

$$U_a = \text{Tegangan fasa ke fasa} \times 110\%$$

$$\quad \times \text{Koefisien Pentanahan}$$

$$U_a = 30 \times 110\% \times 0,8$$

$$U_a = 26,4 \text{ kV}$$

Tegangan Isolasi Dasar (TID) trafo

$$\begin{aligned} V_{max} &= V_{nom} \times 1,1 \\ &= 30 \times 1,1 \\ &= 33 \text{ kV} \end{aligned}$$

Menentukan jarak penempatan arrester

$$\begin{aligned} l &= \frac{U_t - U_a}{2 \frac{du}{dt}} \\ l &= \frac{33 - 26,4}{2 \times 1000} 300 \\ &= \frac{6,6}{2000} 300 \\ &= 0,0033 \times 300 \\ &= 0,99 \text{ meter} \end{aligned}$$

Selanjutnya, menentukan jarak perlindungan arrester dengan peralatan yang dilindungi berdasarkan asumsi penggunaan kapasitas trafo daya 50 kVA, 100 kVA, 160 kVA, 200 kVA, dan 250 kVA, maka digunakan kecuraman gelombang sebesar 1000 kV/ μ s dengan rambat gelombang pada kawat sebesar 300 m/s, maka persamaan dihitung sebagai berikut:

a. Trafo daya 50 kVA

$$\begin{aligned} l &= \frac{U_t - U_a}{2 \frac{du}{dt}} \\ l &= \frac{50 - 26,4}{2 \times 1000} 300 \\ &= \frac{23,6}{2000} 300 \\ &= 0,0118 \times 300 \\ &= 3,54 \text{ meter} \end{aligned}$$

b. Trafo daya 100 kVA

$$\begin{aligned} l &= \frac{U_t - U_a}{2 \frac{du}{dt}} \\ l &= \frac{100 - 26,4}{2 \times 1000} 300 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} &= \frac{82,4}{2000} 300 \\ &= 0,0368 \times 300 \\ &= 11,04 \text{ meter} \end{aligned}$$

c. Trafo daya 160 kVA

$$\begin{aligned} l &= \frac{U_t - U_a}{2 \frac{du}{dt}} \\ l &= \frac{160 - 26,4}{2 \times 1000} 300 \\ &= \frac{133,6}{2000} 300 \\ &= 0,0668 \times 300 \\ &= 20,04 \text{ meter} \end{aligned}$$

d. Trafo daya 200 kVA

$$\begin{aligned} l &= \frac{U_t - U_a}{2 \frac{du}{dt}} \\ l &= \frac{200 - 26,4}{2 \times 1000} 300 \\ &= \frac{173,6}{2000} 300 \\ &= 0,00868 \times 300 \\ &= 26,04 \text{ meter} \end{aligned}$$

e. Trafo daya 250 kVA

$$\begin{aligned} l &= \frac{U_t - U_a}{2 \frac{du}{dt}} \\ l &= \frac{250 - 26,4}{2 \times 1000} 300 \\ &= \frac{223,6}{2000} 300 \\ &= 0,1118 \times 300 \\ &= 33,54 \text{ meter} \end{aligned}$$

Berdasarkan hasil perhitungan tersebut, maka jarak penempatan dan jarak perlindungan arrester terhadap peralatan yang dilindunginya dapat dilihat selengkapnya pada Tabel 1 berikut.

TABEL 1. PERHITUNGAN JARAK PERLINDUNGAN ARRESTER

Tegangan Trafo (kV)	Tegangan Pengenal Arrester (kV)	TID Trafo (kV)	Jarak Pemasangan Arrester (m)	Kapasitas Trafo (kVA)				
				50 kVA	100 kVA	160 kVA	200 kVA	250 kVA
				Jarak Perlindungan Arrester (m)				
2	1,76	2,2	0,066	7,236	14,736	23,736	29,736	37,236
4	3,52	4,4	0,132	6,972	14,472	23,472	29,472	36,972
6	5,28	6,6	0,198	6,708	14,208	23,208	29,208	36,708
8	7,04	8,8	0,264	6,444	13,944	22,944	28,944	36,444
10	8,8	11	0,33	6,18	13,68	22,68	28,68	36,18

12	10,56	13,2	0,396	5,916	13,416	22,416	28,416	35,916
14	12,32	15,4	0,462	5,652	13,152	22,152	28,152	35,652
16	14,08	17,6	0,528	5,388	12,888	21,888	27,888	35,388
18	15,84	19,8	0,594	5,124	12,624	43,248	27,624	35,124
20	17,6	22	0,66	4,86	12,36	21,36	27,36	34,86
30	26,4	33	0,99	3,54	11,04	20,04	26,04	33,54

Dari Tabel 1 dapat dilihat bahwa perbedaan jarak arrester yang dihitung dengan mengasumsikan tegangan trafo dari 2 kV sampai dengan 30 kV, maka didapatkan nilai tegangan pengenalan arrester, tingkat isolasi dasar trafo. Maka didapatkan nilai dari jarak pemasangan *arrester* dan jarak perlindungan arrester terhadap peralatan yang dilindunginya, dengan menggunakan tegangan trafo 20 kV, tegangan pengenalnya sebesar 17,6 kV, dengan TID trafo sebesar 22 kV maka didapatkan jarak pemasangan arrester sebesar 0,66 meter, dengan jarak perlindungan dengan mengasumsi kapasitas trafo daya sebesar 50 kVA, 100 kVA, 160 kVA, 200 kVA sampai dengan 250 kVA maka jarak perlindungan arrester terhadap peralatan yang dilindungi tersebut sebesar 4,86 m, 12,36 m, 21,36 m, 27,36 m, 34,86 m. Jadi, dari ke lima kapasitas trafo daya yang diasumsikan maka didapatkan semakin kecil kapasitas trafo yang digunakan, semakin dekat jarak perlindungan arrester yang diperoleh. Selanjutnya, dari Tabel juga menunjukkan bahwa variasi tegangan mulai dari 2 kV sampai dengan 30 kV berpengaruh terhadap dekat jauhnya jarak pemasangan arrester serta jarak perlindungan arrester bagi peralatan yang dilindunginya.

Berdasarkan karakteristik, kerja arrester tidak boleh melibihi 2,745 m. Jarak maksimum arrester terhadap trafo distribusi yang baik terdapat pada trafo 50 kVA, sampai dengan 200 kVA, dengan tegangan kerja trafo 2 kV sampai dengan 16 kV. Sedangkan pada tegangan kerja 18 kV sampai dengan 30 kV jarak maksimum perlindungan arrester terhadap trafo distribusi yang tidak sesuai dengan karakteristik kerja arrester terdapat pada trafo dengan kapasitas 160 kVA sampai dengan 250 kVA. Penyebab tidak sesuai dengan karakteristik kerja arrester dikarenakan oleh asumsi dari tegangan impuls yang terjadi pada jaringan distribusi 1000 kV/μs, seharusnya tegangan impuls yang sesuai dengan kapasitas trafo 160 kV sampai dengan 250 lebih besar dari 1000 kV/μs.

E. Perhitungan Faktor Perlindungan Arrester

Perhitungan faktor perlindungan arrester dilakukan dengan variasi tegangan kerja trafo dari 2 kV sampai dengan 30 kV, sebagai contoh perhitungan maka diketahui tegangan sistem sebesar 20 kV, tegangan percikan impuls yang ditetapkan sebesar 87 kV dengan kawat penghubung toleransi sebesar 110%. Sehingga tingkat perlindungan (TP) didapatkan:

$$TP \text{ (Tingkat Perlindungan)} = V_a \times 110\%$$

$$TP = 87 \times 1,1$$

$$= 95,7 \text{ kV}$$

Setelah nilai tingkat perlindungan diketahui dan tingkat isolasi dasar (TID) trafo sebesar 125 kV, maka faktor perlindungan (FP) dapat dihitung sebagai berikut:

$$FP = \frac{TID - TP}{TP} \times 100$$

$$FP = \frac{125 - 95,7}{95,7} \times 100$$

$$FP = 30,61\%$$

Untuk hasil faktor perlindungan arrester (FP), selengkapnya dapat dilihat pada Tabel 2.

TABEL 2. FAKTOR PERLINDUNGAN ARRESTER

Tegangan Tafo (kV)	Pengenal Arrester (kV)	STD (kV)	TP (kV)	FP (%)
2	3	23	14,3	774,1
4	4,5	17,5	19,25	549,3
6	7,5	28	30,8	305,8
8	9	32,5	35,75	249,6
10	12	43	47,3	164,2
12	15	54	59,4	110,4
14	18	65	71,5	74,8
16	18	65	71,5	74,8
18	21	76	83,6	49,52
20	24	87	95,7	30,61
30	33	119	130,9	29,87

Dari Tabel 2 menunjukkan bahwa semakin tinggi tegangan kerja trafo maka semakin kecil faktor perlindungannya, namun tingkat perlindungannya semakin besar. Hal ini di pengaruhi oleh faktor tingkat isolasi dasar (TID) dan tegangan percik impuls maksimum (STD). Faktor perlindungan arrester terhadap peralatan yang dilindungi lebih besar 20% dari tingkat isolasi dasar (TID) peralatan, sehingga arrester ini sudah baik dalam memberikan perlindungan terhadap peralatan yang dilindunginya, maka dari itu faktor perlindungan tidak boleh kurang dari 20%.

IV. KESIMPULAN

Dari hasil analisa yang dilakukan, maka dapat diambil kesimpulan bahwa jarak maksimum *lightning arrester* terhadap transformator sesuai dengan karakteristik kerja arrester 0,66 meter. Dengan jarak perlindungan dari peralatan yang dilindungi adalah 4,86 meter, 12,36 meter, 21,36 meter, 27,36 meter, 34,86 meter. Jarak penempatan arrester terhadap trafo 0,99 meter. Dengan jarak perlindungan dari peralatan yang dilindungi adalah 3,54 meter, 11,04 meter, 20,04 meter, 2,595 meter, 33,54 meter, sehingga penempatan dan penyambungan arrester masih dalam kondisi yang baik. Pemasangan *lightning arrester* dengan jarak 0,34 m dan 3,75 m dari peralatan masih dapat bekerja untuk melindungi peralatan dari pengaruh surja petir. Faktor perlindungan arrester dipengaruhi oleh besar kecilnya tegangan kerja trafo karena faktor perlindungan arrester yang baik terhadap trafo minimal adalah 20% dari TID.

REFERENSI

- [1] H. Fitriani, S B. Muliadi, Muhammad Raudhi Azmi, Syukri, "Analisis Sistem Penerangan Pada Puskesmas Berdasarkan Standart Nasional Indonesia (SNI)," Aceh J. Electr. Eng. Technol., vol. 1, no. 1, pp. 12–17, 2021.

- [2] A. Srinaldi, Muliadi, Syukri, M. R. Azmi, and Husaini, "Proteksi Jaringan Transmisi Saluran Udara dengan Menggunakan Relay Jarak," *Aceh J. Electr. Eng. Technol.*, vol. 1, no. 1, pp. 6–11, 2021.
- [3] E. S. Nasution, F. I. Pasaribu, and M. H. Hidayat, "Studi Proteksi Sistem Tenaga Listrik Pada Trafo 1600 kVA Menggunakan Current Relay IWU 2-3," *J. MESIL (Mesin Elektro Sipil)*, vol. 2, no. 2, pp. 28–39, 2021, doi: 10.53695/jm.v2i2.562.
- [4] Junaidi, Syukri, M. R. Azmi, Muliadi, and T. Multazam, "Analisis Tahanan Pentanahan pada Peralatan Gardu Induk PT. PLN (Persero) Banda Aceh," vol. 1, pp. 18–22.
- [5] I. Kurnia Yulianto, I. W. Rinas, and I. M. Suartika, "Analisa Penempatan Lightning Arrester Sesudah Cut Out Untuk Mengurangi Gangguan Tegangan Lebih Pada Trafo KL 0074 Di PT. PLN (Persero) ULP Klungkung," *J. SPEKTRUM*, vol. 8, no. 2, p. 55, 2021, doi: 10.24843/spektrum.2021.v08.i02.p7.
- [6] A. Wardoyo, M. T. Taman, and D. N. K. Hardani, "Analisis Perbandingan Pola Pemasangan Arrester pada Jaringan Distribusi 20 kV PT . PLN Area Cilacap," *Sainteks*, vol. 15, no. 2, pp. 145–15, 2018.
- [7] A. Relikson Saragih, Yusniati, Ramayulis Nasution, "Studi Peralatan Proteksi Sambaran Petir Lightning Arrester Pada Jaringan Distribusi 20 KV," vol. 5, no. 1, pp. 32–37, 2020.
- [8] I. K. A. Yodha Bhaskara, I. G. Dyana Arjana, and I. M. Suartika, "Analisa Kegagalan Lightning Arrester Pada Penyulang Sulahan Bangli," *J. SPEKTRUM*, vol. 6, no. 3, p. 94, 2019, doi: 10.24843/spektrum.2019.v06.i03.p13.
- [9] I. M. S. Made Asna, I Wayan Suriana, I Wayan Sugara Yasa, I Wayan Sutama, "Analisis Konstruksi Posisi Lightning Arrester Di Gardu Distribusi Km 0003 Penyulang Subagan Wilayah Kerja PT PLN (Persero) ULP Karangasem," *J. Ilm. Telsinas Elektro, Sipil dan Tek. Inf.*, vol. 4, no. 1, pp. 46–55, 2022, doi: 10.38043/telsinas.v4i1.2143.
- [10] R. A. Adam, Analisis Kinerja Lightning Arrester (LA) Berdasarkan Arus Bocor Pada Gardu Induk 150 kV Solobaru PT. PLN (Persero) UPT Salatiga. 2022.