

## Analisis Konstruksi Posisi *Lightning Arrester* di Gardu Distribusi Km 0003 Penyulang Subagan Wilayah Kerja PT PLN (Persero) ULP Karangasem

I Made Sariana, I Made Asna, I Wayan Sugarayasa

Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik dan Informatika, Universitas Pendidikan Nasional  
E-mail : [asna.teknokrat@gmail.com](mailto:asna.teknokrat@gmail.com)

---

**ABSTRACT** : *One of the system distribution components is the substation distribution. Distribution substation connects the network to consumers. The most important components of a distribution substation is the transformer . Transformers often experience interference due to lightning strikes since the position is in the open air. During the period of time 2017 -2019 on feeder Subagan suffered disruption due to the impulse of lightning for 10 times. The study aim to discuss how the work of lightning arresters in protecting equipment with the construction of the old model and after made changes in the position , distance protection ideal lightning arrester to the transformer , performance lightning arrester after changes in position on the new construction , and the impact of differences in the construction of the installation of lightning arresters in ULP Karangasem . From the analysis , through the climate condition in the region of Karangasem, the maximum lightning distance protection arrester and the transformer is 6.2245 meters. Distance lightning of the old construction existing arrester and transformer was 1,5 meters. The distance that makes the current peak of lightning that is capable received from lightning arrester amounted to 178.3032 kA, so it can be concluded that the distance lightning arrester and transformer with long construction can work with the maximum. The new construction, according to SPLN D5.006 2013, the distance of lightning arrester and transformer in KM 0003 was 0.6 meters. The distance that makes the current peak of lightning that is capable received from lightning arrester is higher, namely 655.008 kA, and increase the performance of lightning arresters for 267.36 % due to changes in position*

---

**Keyword** : *transformator , lightning , lightning arresters, construction*

### PENDAHULUAN

Sambaran petir merupakan salah satu penyebab terjadinya gangguan pada sistem distribusi. Salah satu komponen dari sistem distribusi adalah gardu distribusi. Gardu distribusi berfungsi untuk menghubungkan jaringan ke konsumen atau untuk membagikan/mendistribusikan tenaga listrik pada beban/konsumen baik konsumen tegangan menengah maupun tegangan rendah. Adapun komponen terpenting dari gardu distribusi adalah transformator. Trafo tersebut berfungsi sebagai penurun tegangan (*step down transformer*), yang menurunkan tegangan 20 kV (tegangan menengah) menjadi 400/230 V (tegangan rendah). Karena trafo terhubung dengan saluran udara 20 kV dan penempatannya di tempat terbuka sehingga pada trafo dapat terjadi gangguan tegangan lebih akibat sambaran petir secara langsung atau sambaran petir tidak langsung (induksi). Sambaran petir akan menimbulkan tegangan lebih yang tinggi melebihi kemampuan isolasi trafo sehingga dapat menyebabkan kerusakan isolasi yang fatal.

Untuk mencegah terjadinya hal tersebut maka setiap pemasangan trafo distribusi 20 kV pada setiap gardu distribusi selalu dilengkapi dengan *Lightning Arrester*. Pemasangan *Lightning Arrester* pada setiap gardu berbeda penempatan atau

kedudukannya. Penempatan *Lightning Arrester* dapat mempengaruhi kinerja *Lightning Arrester* tersebut dalam memproteksi trafo dan peralatan lainnya pada gardu distribusi transformator tiang. Mengingat semakin besar jumlah kerusakan yang dapat ditimbulkan oleh sambaran petir, maka kontinuitas penyaluran tenaga listrik perlu dijaga serta kualitas pelayanan dan kualitas daya perlu ditingkatkan.

Dari data gangguan Penyulang Subagan PLN (Persero) ULP Karangasem sering mengalami berbagai macam gangguan, baik yang bersumber dari peralatan, binatang maupun cuaca. Dari data yang ada, gangguan yang bersumber dari akibat impuls petir, selama kurun waktu 2017-2019 pada Penyulang Subagan mengalami gangguan akibat impuls petir sebanyak 10 kali. Dari data gangguan yang bersumber dari impuls petir tersebut terlihat gangguan sering terjadi pada wilayah gardu distribusi KM 0003 pada Penyulang Subagan yang terletak di Jalan Ahmad Yani.

Berdasarkan hal tersebut, maka PLN ULP Karangasem berinovasi dengan melakukan perubahan konstruksi pada pengaman *Lightning Arrester*. Ini merupakan usaha untuk melindungi aset PT PLN (Persero) dan mengembalikan fungsi utama arrester yaitu melindungi transformator dan menurunkan gangguan Penyulang Subagan akibat

sambaran petir. Selain itu frekuensi gangguan semakin rendah sehingga kWh yang terjual semakin banyak.

### Tujuan Penelitian

Adapun tujuan permasalahan yang akan dibahas adalah sebagai berikut:

1. Untuk mengetahui konstruksi *Lightning Arrester* dalam memproteksi peralatan yang terdapat dalam gardu distribusi KM 0003 dengan pemasangan model lama.
2. Untuk mengetahui konstruksi *Lightning Arrester* pada gardu distribusi KM 0003 setelah dilakukan perubahan posisi pada konstruksi yang baru.

Untuk mengetahui dampak dari perbedaan konstruksi dalam pemasangan *Lightning Arrester* di ULP Karangasem dengan konstruksi dari SPLN D5.006. 2013

### LANDASAN TEORI

#### A. Sistem Tenaga Listrik

Secara umum sistem tenaga listrik terdiri atas komponen tenaga listrik yaitu pembangkit tenaga listrik, sistem transmisi dan sistem distribusi. Ketiga bagian ini merupakan bagian utama pada suatu rangkaian sistem tenaga listrik yang bekerja untuk menyalurkan daya listrik dari pusat pembangkit ke pusat-pusat beban. Energi listrik yang dihasilkan di pusat pembangkit listrik akan disalurkan melalui saluran transmisi kemudian melalui saluran distribusi akan sampai ke konsumen.

#### B. Sistem Distribusi

Sistem distribusi ini adalah sub sistem tenaga listrik yang langsung berhubungan dengan pengguna listrik dan pada umumnya berfungsi dalam hal penyaluran tenaga listrik ke beberapa tempat. Sub sistem ini terdiri dari : pusat pengatur atau gardu induk, gardu hubung, saluran tegangan menengah atau jaringan primer (6 kV dan 20 kV) yang berupa saluran udara atau kabel bawah tanah, saluran tegangan rendah atau jaringan sekunder (380 V dan 220 V), gardu distribusi tegangan yang terdiri dari panel-panel pengatur tegangan baik tegangan menengah ataupun tegangan rendah, dan trafo.

#### C. Gardu Distribusi

Gardu Distribusi merupakan salah satu komponen dari suatu sistem distribusi PLN yang berfungsi untuk menghubungkan jaringan ke konsumen atau untuk mendistribusikan tenaga listrik pada konsumen atau pelanggan, atau pengertian lainnya adalah suatu bangunan gardu listrik yang terdiri dari instalasi Perlengkapan Hubung Bagi Tegangan Menengah (PHB-TM), Transformator Distribusi (TD) dan Perlengkapan Hubung Bagi Tegangan Rendah (PHB-TR). Yang memiliki tujuan

untuk memasok kebutuhan tenaga listrik bagi para pelanggan baik dengan Tegangan Menengah (TM 20 kV) maupun Tegangan Rendah (TR 220/380V).

#### A. Transformator Distribusi

Transformator adalah suatu alat listrik yang memiliki fungsi untuk mengubah tegangan arus bolak balik dari satu rangkaian ke rangkaian yang lain atau seperangkat peralatan statis yang berdasarkan prinsip induksi elektromagnetik mentransformasikan tegangan dan arus bolak-balik diantara dua belitan atau lebih pada frekuensi sama besar dan biasanya pada nilai arus dan tegangan yang berbeda.

Transformator terdiri dari beberapa jenis yaitu transformator tegangan, transformator arus, transformator distribusi, dan transformator daya. Transformator tegangan dan arus biasanya digunakan sebagai alat bantu pengukuran dan sebagai alat bantu proteksi, yang penggunaannya bersama-sama. Sedangkan untuk pasokan beban menggunakan transformator distribusi dan transformator daya.

#### B. *Lightning Arrester*

*Lightning Arrester* adalah suatu alat pengamanan yang melindungi jaringan dan peralatannya terhadap tegangan lebih abnormal yang terjadi karena sambaran petir (*flash over*) dan karena surja hubung (*switching surge*) di suatu jaringan. *Lightning Arrester* ini memberi kesempatan yang lebih besar terhadap tegangan lebih abnormal untuk dilewatkan ke tanah sebelum alat pengamanan ini merusak peralatan jaringan seperti transformator dan isolator. Oleh karena itu *Lightning Arrester* merupakan alat yang peka terhadap tegangan, maka pemakaiannya harus disesuaikan dengan tegangan system.

*Lightning Arrester* petir atau sering disingkat LA adalah suatu alat pelindung bagi peralatan sistem tenaga listrik terhadap surja petir. Alat pelindung terhadap gangguan surja ini berfungsi melindungi peralatan sistem tenaga listrik dengan cara membatasi surja tegangan lebih yang datang dan mengalirkannya ke tanah.

Karena fungsinya, *Lightning Arrester* harus dapat menahan tegangan sistem 50 Hz untuk waktu yang terbatas dan harus dapat melewatkan surja arus ke tanah tanpa mengalami kerusakan. *Lightning Arrester* berlaku layaknya jalan pintas sekitar isolasi. *Lightning Arrester* membentuk jalan yang mudah untuk dilalui oleh arus kilat atau petir, sehingga tidak timbul tegangan lebih yang tinggi pada peralatan saat terkena sambara petir.

#### C. Prinsip Kerja *Lightning Arrester*

Pada prinsipnya, kerja *Lightning Arrester* yaitu dengan membentuk jalan yang mudah dilalui oleh petir, sehingga tidak timbul tegangan lebih yang tinggi pada peralatan. Pada kondisi normal arrester

berlaku sebagai isolasi tetapi bila timbul surja *Lightning Arrester* berlaku sebagai konduktor yang berfungsi melewatkan aliran arus yang tinggi ke tanah. Setelah arus hilang, *Lightning Arrester* harus dengan cepat kembali normal atau menjadi isolator. *Lightning Arrester* terdiri dari dua bagian yaitu : sela api (*spark gap*) dan tahanan kran (*valve resistor*). Keduanya dihubungkan secara seri. Batas atas dan bawah dari tegangan percikan ditentukan oleh tegangan sistem maksimum dan oleh tingkat isolasi peralatan yang dilindungi. Untuk penggunaan yang lebih khusus *Lightning Arrester* mempunyai satu bagian lagi yang disebut dengan Tahanan katup dan sistem pengaturan atau pembagian tegangan (*grounding sistem*).

Jika 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 tegangan mencapai keadaan bahaya. Dalam hal ini, tegangan sistem bolak-balik akan tetap mempertahankan busur api sampai pemutus bebannya dibuka. Dengan menyambung sela api ini dengan sebuah tahanan, maka kemungkinan api dapat dipadamkan. Tetapi bila tahanannya mempunyai harga tetap, maka jatuh tegangannya menjadi besar sekali sehingga maksud untuk meniadakan tegangan lebih tidak terlaksana, dengan akibat bahwa maksud melindungi isolasi pun gagal. Oleh sebab itu disarankan memakai tahanan kran (*valve resistor*), yang mempunyai sifat khusus, yaitu tahanannya kecil sekali bila tegangannya dan arusnya besar. Proses pengecilan tahanan berlangsung cepat yaitu selama tegangan lebih mencapai harga puncak. Tegangan lebih dalam hal ini mengakibatkan penurunan drastis pada tahanan sehingga jatuh tegangannya dibatasi meskipun arusnya besar.

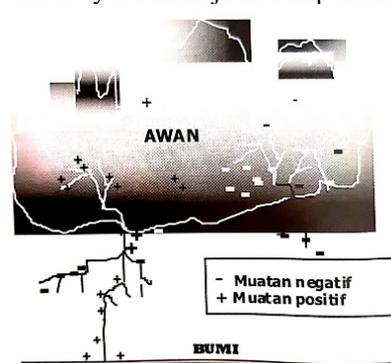
Bila tegangan lebih habis dan tinggal tegangan normal, tahanannya naik lagi sehingga arus susulannya dibatasi kira – kira 50 ampere. Arus susulan ini akhirnya dimatikan oleh sela api pada waktu tegangan sistemnya mencapai titik nol yang pertama sehingga alat ini bertindak sebagai sebuah kran yang menutup arus, dari sini didapatkan nama tahanan kran. Pada *Lightning Arrester* modern pemadaman arus susulan yang cukup besar (200–300 A) dilakukan dengan bantuan medan magnet. Dalam hal ini, baik amplitud maupun lamanya arus susulan dapat dikurangi dan pemadaman dapat dilakukan sebelum tegangan sistem mencapai harga nol.

Tegangan dasar (*rated voltage*) yang dipakai pada *Lightning Arrester* adalah tegangan maksimum sistem, dimana *Lightning Arrester* ini harus mempunyai tegangan dasar maksimum tidak melebihi tegangan dasar maksimum dari sistem, yang disebut dengan tegangan dasar penuh atau *Lightning Arrester* 100 %.

#### D. Sambaran Petir

Petir adalah pelepasan muatan yang terjadi antara awan dengan awan atau antara awan dengan tanah. Dimana dalam awan terdapat muatan positif dan muatan negatif, jika muatan tidak senama bertemu maka akan terjadi tarik menarik yang dapat menimbulkan ledakan/kilat diawan, begitu juga kalau muatan senama bertemu akan terjadi tolak menolak, juga akan terjadi ledakan/kilat.

Bumi adalah sebagai gudang muatan positif maupun negatif, jika pelepasan muatan dari petir dekat dengan bumi, maka akan terjadi sambaran petir kebumi. Bila petir mengenai langsung kepenghantar SUTM, kemungkinan besar penghantar tersebut akan putus karena gelombang petir yang menimbulkan tegangan impuls melebihi BIL (*Basic Insulation Level*) dari penghantar SUTM. Jika petir yang mengenai SUTM bukan sambaran langsung tetapi induksi dari petir, gerak dari gelombang petir itu menjalar ke segala arah dengan perkataan lain terjadi gelombang berjalan sepanjang jaringan yang menuju suatu titik lain yang dapat menetralsir arus petir tersebut yaitu menuju ketitik pentanahan.



Gambar Proses Terjadinya Petir

Kelebihan tegangan yang disebabkan petir disebabkan oleh sambaran langsung atau sambaran tidak langsung (induksi) dapat dijelaskan sebagai berikut:

##### a. Sambaran Langsung

Sambaran langsung yang mengenai rel dan peralatan. Sambaran langsung menyebabkan tegangan lebih yang sangat tinggi yang tidak mungkin dapat ditahan oleh isolasi yang ada ( $> BIL$ )

##### b. Sambaran Induksi

Bila terjadi sambaran kilat ke tanah di dekat saluran maka akan terjadi fenomena transien yang diakibatkan oleh medan elektromagnetis dari kanal kilat. Fenomena kilat ini terjadi pada kawat penghantar. Akibat dari kejadian ini timbul tegangan lebih dan gelombang berjalan yang merambat pada kedua sisi kawat tempat sambaran berlangsung. Tegangan induksi dapat berubah-ubah tergantung dari keadaannya, secara umum besar tegangan lebih akibat sambaran induksi antara 100 – 200 kV, muka

gelombangnya (*wave front*) lebih dari 10  $\mu$ s dan ekor gelombang (*wave tail*) 50 – 100  $\mu$ s, dimana gelombang ini sebagai ancaman bagi peralatan distribusi.

Bentuk gelombang surja petir (tegangan impuls) terlihat pada gambar di bawah ini. Untuk sambaran langsung besarnya  $T_f = 1.2 \mu$ s,  $T_r = 50 \mu$ s dan tegangan puncak  $U =$  mendekati 300 kV, sambaran induksi besar  $T_f = 10 \mu$ s,  $T_r = 50 - 100 \mu$ s dan  $U = 100 - 200$  kV.

#### E. Persamaan Empiris

##### Perhitungan Resiko Sambaran Petir

###### a. Kepadatan Sambaran Petir ke Tanah ( $F_G$ )

$$F_G = 123.10^{-4} \times (p)^{0,563} \times (\text{Jumlah hari guruh})^{0,33} \text{ sambaran/km}^2 \text{ tahun} \dots\dots\dots(2.1)$$

Dimana :

$$p = \text{Curah hujan rata-rata}$$

###### b. Arus Puncak Petir ( $\hat{i}$ )

$$\hat{i} = 29,5143 \times F_G^{0,332737} \times e^{((-4,14107 \times 10^{-3} \times L_i) \times (-2,40752 \times 10^{-4} \times A))} \text{ kA} \dots\dots\dots(2.2)$$

Dimana :

- $F_G$  = Kepadatan sambaran petir ke tanah
- $A$  = Ketinggian awan terendah

###### c. Kecuraman Maksimum Arus Petir

$$\left(\frac{di}{dt}\right) = 1,2358 \times \hat{i}^{0,7042} \dots\dots\dots(2.3)$$

Dimana :

$$\hat{i} = \text{Arus puncak petir}$$

###### d. Kecuraman Muka Gelombang Tegangan Petir

###### 1. Andongan (D)

$$D = \frac{W \times S^2}{8 \times T} \dots\dots\dots(2.4)$$

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 ( $h$ )

$$h = ht - \frac{2}{3} \text{ andongan} \dots\dots\dots(2.5)$$

Dimana :

$$ht = \text{Tinggi kawat konduktor pada tiang (m)}$$

###### 3. Perhitungan nilai induktansi (L)

$$L = 2 \times 10^{-7} \ln \frac{2h}{r} \dots\dots\dots(2.6)$$

Dimana :

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

$r$  = Jari-jari kawat konduktor (m)

#### 4. Perhitungan nilai kapasitansi (C)

$$C = \frac{10^{-9}}{18 \ln \frac{2h}{r}} \dots\dots\dots(2.7)$$

Dimana :

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

$r$  = Jari-jari kawat konduktor (m)

#### 5. Impedansi Surja Saluran (Z)

$$Z_c = \sqrt{\frac{L}{C}} \dots\dots\dots(2.8)$$

Dimana :

- $L$  = Induktansi
- $C$  = Kapasitansi

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

$$\frac{du}{dt} = \frac{1}{2} \times Z \times \frac{di}{dt} \dots\dots\dots(2.9)$$

Dimana :

- $Z$  = Impedansi surja saluran (ohm)
- $\left(\frac{di}{dt}\right)$  = Nilai kecuraman arus petir (kA/ $\mu$ s)

### METODE PENELITIAN

#### A. Lokasi dan Waktu Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan di wilayah kerja PLN (Persero) ULP Karangasem pada bulan April s.d. Juli 2020.

#### B. Sumber dan Jenis Data

##### a. Sumber Data

Dalam pengambilan data ini penulis menggunakan dua sumber data yaitu:

1. Sumber data primer, yaitu data yang langsung dikumpulkan oleh peneliti dari sumber pertamanya. Adapun yang menjadi sumber data primer dalam penelitian ini adalah PT. PLN (Persero) ULP Karangasem.
2. Sumber data sekunder, yaitu data yang langsung dikumpulkan oleh peneliti sebagai penunjang dari sumber pertama. Dalam hal ini data diperoleh dari studi kepustakaan dan kajian dari berbagai sumber pustaka yang relevan dalam penulisan tugas akhir ini.

b. Jenis Data

Adapun data yang digunakan dalam penelitian ini adalah kualitatif dan kuantitatif.

1. Data kualitatif, yaitu data yang disajikan dalam bentuk kata verbal bukan dalam bentuk angka, yang termasuk data kualitatif dalam penelitian ini yaitu gambaran umum objek penelitian, dan kondisi lokasi penelitian.
2. Data kuantitatif adalah jenis data yang dapat diukur atau dihitung secara langsung, yang berupa informasi atau penjelasan yang dinyatakan dengan bilangan dan berbentuk angka. Dalam hal ini data kuantitatif yang diperlukan adalah data curah hujan, data penyulang, data *Lightning Arrester*, dan semua data yang terkait dengan penelitian ini.

C. Prosedur Penelitian

a. Studi Literatur

Studi literatur dilakukan penulis untuk mengumpulkan referensi dalam penulisan laporan tugas akhir ini. Kegiatan studi ini meliputi penelaahan text book, diktat, internet browsing dan sebagainya yang berhubungan dengan hasil penelitian sejenis.

b. Pengambilan Data

Metode Pengambilan Data dilakukan dengan terjun langsung ke lapangan untuk mempelajari objek yang akan dipilih. Dalam prosesnya, penulis melakukan pencarian dan pengumpulan data-data yang dilakukan dengan cara mencari data dari sumber yang tepat dan memadukan data hasil penelitian dengan teori yang ada.

D. Analisis Data

Teknis analisis data adalah dengan menggunakan data pada saluran Penyulang Subagan. Disini akan dicantumkan rumus yang akan digunakan dalam pengolahan data :

Rumus menentukan jarak proteksi maksimal *Lightning Arrester*

$$l = \frac{U_t - U_a}{2 \frac{du}{dt}} V \quad (1.1)$$

Dimana:

$l$  = Jarak antara *Lightning Arrester* dengan peralatan yang dilindungi (meter)

$U_t$  = Tingkat isolasi dasar (TID) dari transformator (kilo volt)

$U_a$  = Tegangan pengenalan *Lightning Arrester* (kilo volt)

$\frac{du}{dt}$  = Kecuraman dari gelombang yang datang (kilo volt /mikro second) nilai berkisar antara 1000 kilo volt /mikro second - 2000 kilo volt /mikro second

$V$  = kecepatan propagasi gelombang tegangan lebih ; 300 meter/ mikro second untuk saluran udara, 150 meter / mikro second untuk kabel.

Dari rumus menentukan jarak proteksi maksimal *Lightning Arrester* maka dapat dianalisis bahwa setelah data diolah dengan rumus tersebut akan didapatkan jarak yang seharusnya antara arrester dengan peralatan yang diproteksinya dalam hal ini adalah transformator. Setelah ditemukan jarak maksimal, dengan cara sebaliknya akan dianalisis besar petir yang dapat diproteksi oleh *Lightning Arrester* di gardu distribusi KM 0003 dengan konstruksi lama dibandingkan dengan konstruksi baru gardu distribusi sesuai SPLN D5.006. 2013.

PEMBAHASAN

A. Perhitungan Nilai Tegangan Pengenal *Lightning Arrester* ( $U_a$ )

Berikut ini adalah perhitungan nilai tegangan pengenalan arrester sistem pentanahan yang digunakan di gardu KM 0003 adalah pentanahan langsung, sehingga koefisien pentanahannya 0,8. Berikut adalah perhitungannya

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

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

$$U_a = 17,6kV$$

B. Perhitungan Nilai Kecuraman Arus Petir ( $\frac{di}{dt}$ ).

Dalam perhitungan penentuan jarak maksimal proteksi *Lightning Arrester* ( $L_a$ ), maka terlebih dahulu harus mengetahui nilai ( $\frac{du}{dt}$ ), untuk mendapatkan nilai ( $\frac{du}{dt}$ ) maka harus diketahui nilai ( $\frac{di}{dt}$ ). Berikut ini adalah proses perhitungan sehingga mendapatkan nilai ( $\frac{di}{dt}$ ).

1. Perhitungan Nilai Kepadatan Petir ke Tanah per  $km^2$  per tahun ( $F_G$ )

Perhitungan resiko sambaran petir pada saluran udara tegangan menengah di Gardu KM 0003 pada koordinat  $08^{\circ} 27' 18,2''$  dengan ketinggian awan terendah (A) 600 meter, jumlah hari guruh rata-rata (IKL) 16,71 hari/tahun, dan curah hujan rata-rata (P) adalah 143,207 mm/tahun. Selanjutnya dilakukan perhitungan nilai kepadatan petir ke tanah per  $km^2$  per tahun, dengan rumus sebagai berikut.

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

Dari tabel 4.5 didapat nilai curah hujan rata-rata (p) = 143,207 mm/tahun

$$F_G = 123. 10^{-4} \times (143,207)^{0,563} \times (16,71)^{0,33} \text{ sambaran} /km^2 \text{ tahun}$$

$$F_G = 123. 10^{-4} \times 16,361 \times 2,5327 \text{ sambaran} /km^2 \text{ tahun}$$

$$F_G = 123. 10^{-4} \times 41,4375 \text{ sambaran}/km^2 \text{ tahun}$$

$$F_G = 5.096,8125 \times 10^{-4} \text{ sambaran}/km^2 \text{ tahun}$$

$$F_G = 0,5097 \text{ sambaran/km}^2\text{tahun}$$

2. Perhitungan Arus Puncak Petir ( $\hat{i}$ )

Berikut ini adalah perhitungan nilai arus puncak petir ( $\hat{i}$ )

$$\hat{i} = 29,5143 \times F_G^{0,332737} \times e^{((-4,14107 \times 10^{-3} \times L_i) + (-2,40752 \times 10^{-4} \times A))} kA$$

dimana :

$$L_i = 008^\circ 27' 18,2'' LS = 8 \text{ jam} + (27/60) \text{ jam} + (18,2/3600) \text{ jam} = 8,451139 \text{ jam}$$

Sehingga besar nilai arus puncak petir sebagai berikut

$$\hat{i} = 29,5143 \times 0,5097^{0,332737} \times e^{((-4,14107 \times 10^{-3} \times 8,451139) + (-2,40752 \times 10^{-4} \times 600))} kA$$

$$\hat{i} = 29,5143 \times 0,7991 \times e^{(5,0553 \times 10^{-3})} kA$$

$$\hat{i} = 23,5143 \times 1,0051 kA$$

$$\hat{i} = 23,6342 kA$$

3. Perhitungan Nilai Kecuraman Arus Petir Maksimum ( $di/dt$ )

Setelah didapat nilai arus puncak petir, selanjutnya dapat dihitung nilai ( $di/dt$ ) dengan perhitungan sebagai berikut.

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

$$(di/dt) = 1,2358 \times 23,6342^{0,7042} kA/\mu s$$

$$(di/dt) = 11,4603 kA/\mu s$$

C. Perhitungan Nilai Kecuraman Muka Gelombang ( $du/dt$ )

Setelah mendapatkan nilai ( $di/dt$ ), selanjutnya dapat dihitung nilai dari ( $du/dt$ ). Berikut adalah proses perhitungan dari ( $du/dt$ ).

1. Perhitungan Nilai Andongan (D)

Dari tabel 4.4. diketahui berat penghantar, jarak gawang, dan komponen horizontal dari tegangan penghantar, sehingga nilai andongan (D) dapat dihitung dengan perhitungan sebagai berikut.

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

$$D = \frac{0,639 \times 50^2}{8 \times 313,11}$$

$$D = \frac{1,597,5}{2.504,88}$$

$$D = 0,6378 \text{ meter}$$

2. Perhitungan Tinggi Rata-Rata Kawat Konduktor Tanpa Kawat Tanah di Atas Tanah

Setelah mendapatkan nilai andongan (D), selanjutnya dihitung nilai dari tinggi rata-rata kawat konduktor tanpa kawat tanah di atas tanah (h). Dengan nilai  $h_t = 11,3$  meter, berikut ini adalah perhitungan dari tinggi rata-rata kawat konduktor tanpa kawat tanah di atas tanah

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

$$h = 11,3 - \frac{2}{3} 0,6378$$

$$h = 10,875 \text{ meter}$$

3. Perhitungan Nilai Induktansi (L)

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

$$L = 2 \times 10^{-7} \ln \frac{2 \times 10,875}{0,0117}$$

$$L = 2 \times 10^{-7} \ln \frac{21,75}{0,0117}$$

$$L = 2 \times 10^{-7} \times 7,528$$

$$L = 1,5056 \times 10^{-6} H/m$$

4. Perhitungan Nilai Kapasitansi (C)

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

$$C = \frac{10^{-9}}{18 \ln \frac{2 \times 10,875}{0,0117}}$$

$$C = \frac{10^{-9}}{18 \ln \frac{21,75}{0,0117}}$$

$$C = \frac{10^{-9}}{18 \ln \frac{21,75}{0,0117}}$$

$$C = 7,3801 \times 10^{-12} F/m$$

5. Perhitungan Impedansi Surja Hubung

Sesuai hasil pengamatan di lapangan, penghantar yang digunakan adalah A3CS yang merupakan penghantar saluran udara. Maka rumus impedansi surja hubung yang digunakan adalah sebagai berikut.

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

$$Z = \sqrt{\frac{1,5056 \times 10^{-6}}{7,3801 \times 10^{-12}}}$$

$$Z = \sqrt{204.008,69}$$

$$Z = 451,673 \text{ ohm}$$

6. Perhitungan Kecuraman Muka Gelombang ( $du/dt$ )

Setelah didapatkan nilai dari impedansi surja hubung (Z) dan kecuraman maksimum arus petir ( $di/dt$ ) maka dapat dihitung nilai dari kecuraman muka gelombang, berikut adalah perhitungannya.

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

$$\frac{du}{dt} = \frac{1}{2} \times 451,673 \times 11,4603$$

$$\frac{du}{dt} = 2.588,154 \text{ kV}/\mu s$$

D. Perhitungan Jarak Proteksi Maksimal Lightning Arrester dengan Transformator (l)

Perhitungan jarak proteksi maksimal Lightning Arrester dengan transformator dilakukan

bertujuan untuk mengetahui pada jarak berapa *Lightning Arrester* mampu memproteksi peralatan yang dilindunginya dalam hal ini transformator, dengan menggunakan rumus :

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

$$l = \frac{125 - 17,6}{2 \times 2.588,154} 300$$

$$l = 6,2245 \text{ meter}$$

E. Perhitungan Arus Puncak Petir yang Mampu Diterima *Lightning Arrester* Sesuai dengan Konstruksi di KM 0003 sesuai SPLN D5.006. 2013 ( $i_2$ )

Dari hasil wawancara dengan pihak PT. PLN (Persero) ULP Karangasem, diketahui bahwa jarak kabel penghantar antara *Lightning Arrester* dan transformator ( $i_2$ ) setelah mengalami perubahan posisi konstruksi adalah 0,6 meter. Maka arus puncak petir yang mampu diterima oleh *Lightning Arrester* dapat dihitung dengan perhitungan sebagai berikut.

1. Perhitungan Kecuraman Muka Gelombang ( $\frac{du}{dt}$ )

Untuk mendapatkan nilai arus puncak petir yang mampu diterima, terlebih dahulu hitung ( $\frac{du}{dt}$ ).

$$l_2 = \frac{U_t - U_a}{2 \times \frac{du}{dt}} V$$

$$0,6 = \frac{125 - 17,6}{2 \times \frac{du}{dt}} 300$$

$$\frac{du}{dt} = 26.850 \text{ kV}/\mu\text{s}$$

2. Perhitungan Nilai Kecuraman Arus Petir Maksimum ( $\frac{di}{dt}$ )

Setelah didapat nilai ( $\frac{du}{dt}$ ), selanjutnya dihitung nilai ( $\frac{di}{dt}$ ) dengan perhitungan sebagai berikut.

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

$$26.850 = \frac{1}{2} \times 451,673 \times \frac{di}{dt}$$

$$\frac{di}{dt} = 118,891 \text{ kA}/\mu\text{s}$$

3. Perhitungan Arus Puncak Petir dengan Konstruksi di KM 0003 sesuai SPLN D5.006. 2013 ( $i_2$ )

Dari hasil perhitungan ( $\frac{di}{dt}$ ), dapat dihitung nilai arus puncak petir ( $i_2$ )

$$\left(\frac{di}{dt}\right) = 1,2358 \times \hat{i}_2^{0,7042}$$

$$118,891 = 1,2358 \times \hat{i}_2^{0,7042}$$

$$\hat{i}_2 = 655,008 \text{ kA}$$

F. Perhitungan Arus Puncak Petir yang Mampu Diterima *Lightning Arrester* Sesuai dengan Konstruksi Lama ( $i_3$ )

Berdasarkan hasil wawancara dengan pihak PT. PLN (Persero) ULP Karangasem, jarak kabel penghantar antara *Lightning Arrester* dan transformator ( $i_3$ ) adalah 1,5 meter. Dengan cara yang sama seperti bagian 4.2.6. dapat dihitung nilai arus puncak petir yang mampu diterima *Lightning Arrester*, berikut adalah proses perhitungannya.

1. Perhitungan Kecuraman Muka Gelombang ( $\frac{du}{dt}$ )

Untuk mendapatkan nilai arus puncak petir yang mampu diterima, terlebih dahulu hitung ( $\frac{du}{dt}$ ).

$$l_3 = \frac{U_t - U_a}{2 \times \frac{du}{dt}} V$$

$$1,5 = \frac{125 - 17,6}{2 \times \frac{du}{dt}} 300$$

$$\frac{du}{dt} = 10740 \text{ kV}/\mu\text{s}$$

2. Perhitungan Nilai Kecuraman Arus Petir Maksimum ( $\frac{di}{dt}$ )

Setelah didapat nilai ( $\frac{du}{dt}$ ), selanjutnya dihitung nilai ( $\frac{di}{dt}$ ) dengan perhitungan sebagai berikut.

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

$$10740 = \frac{1}{2} \times 451,673 \times \frac{di}{dt}$$

$$\frac{di}{dt} = 47,557 \text{ kA}/\mu\text{s}$$

3. Perhitungan Arus Puncak Petir dengan Konstruksi Lama ( $i_3$ )

Dari hasil perhitungan ( $\frac{di}{dt}$ ), dapat dihitung nilai arus puncak petir sesuai konstruksi lama ( $i_3$ )

$$\left(\frac{di}{dt}\right) = 1,2358 \times \hat{i}_3^{0,7042}$$

$$47,557 = 1,2358 \times \hat{i}_3^{0,7042}$$

$$\hat{i}_3 = 178,3032 \text{ kA}$$

G. Perhitungan Persentase Peningkatan Kinerja *Lightning Arrester* antara Konstruksi Baru Sesuai SPLN D5.006. 2013 di KM 0003 dengan Konstruksi Lama

Setelah diketahui dan selanjutnya dibandingkan, terjadi perbedaan arus puncak petir yang mampu diterima antara konstruksi baru sesuai SPLN D5.006. 2013 di KM 0003 dengan konstruksi lama, maka dari itu dapat dihitung persentase peningkatan kinerja dari *Lightning Arrester*. Berikut ini adalah perhitungannya.

$$\hat{i}_r = \frac{\hat{i}_3 - \hat{i}_2}{\hat{i}_3} \times 100\%$$

$$\hat{i}_r = \frac{178,3032 - 655,008}{178,3032} \times 100\%$$

$$\hat{i}_r = 267,36 \%$$

H. Analisis

a. Analisis Model Pemasangan Lightning Arrester

Dari pengamatan yang dilakukan dilapangan dan wawancara dengan pegawai di bidang Teknik PT PLN (Persero) ULP Karangasem, jaringan distribusi yang berada dibawah naungan PT PLN (Persero) ULP Karangasem saat ini memiliki 2 model pemasangan *Lightning Arrester*. Yang pertama adalah konstruksi *Lightning Arrester* setelah FCO sesuai dengan SPLN D5.006. 2013, sehingga panjang dari penghantar antara *Lightning Arrester* dengan transformator akan bertambah Konstruksi yang kedua adalah konstruksi *Lightning Arrester* sebelum FCO Konstruksi ini adalah konstruksi lama yang belum diperbarui oleh PT PLN (Persero) ULP Karangasem, hal ini menyebabkan jarak penghantar antara *Lightning Arrester* dengan FCO semakin panjang.

b. Analisis Kinerja Lightning Arrester dengan Konstruksi Lama

Berdasarkan data-data yang terkumpul dan pembahasan yang telah dilakukan pada bab IV tentang jarak proteksi maksimal *Lightning Arrester* dengan transformator, maka didapatkan jarak maksimal antara *Lightning Arrester* dengan transformator adalah 6,2245 meter. Sehingga dengan kondisi iklim rata-rata khususnya di daerah Karangasem, posisi *Lightning Arrester* dengan konstruksi lama masih dalam kategori aman dan *Lightning Arrester* masih mampu bekerja dengan maksimal. Karena jarak *Lightning Arrester* dan transformator dengan konstruksi lama adalah 1,5 meter

c. Analisis Kinerja Lightning Arrester dengan Konstruksi Baru Sesuai SPLN D5.006. 2013.

Dari pembahasan yang telah dilakukan pada bab IV tentang arus puncak petir yang mampu diterima *Lightning Arrester* sesuai dengan konstruksi di KM 0003, dimana jarak penghantar *Lightning Arrester* dan transformator sesuai dengan konstruksi KM 0003 adalah 0,6 meter. Nilai tersebut didapat berdasarkan hasil wawancara dengan pihak PT.PLN (Persero) ULP Karangasem. Dari perhitungan, didapatkan nilai arus puncak petir yang mampu diterima oleh *Lightning Arrester* adalah 655,008 kA. Jika dibandingkan dengan posisi *Lightning Arrester* ketika jarak maksimal penghantarnya terhadap transformator sepanjang 6,2245 meter, maka dengan jarak tersebut arus puncak petir yang mampu diterima oleh *Lightning Arrester* adalah 23,6342 kA. Dengan jarak penghantar *Lightning Arrester* dan transformator sesuai dengan konstruksi baru KM 0003 akan menyebabkan kinerja *Lightning Arrester* meningkat.

d. Analisis Dampak dari Perbedaan Konstruksi di ULP Karangasem dengan SPLN D5.006. 2013

Tabel 4.5. Hasil Perhitungan Antara Konstruksi Lama dan Konstruksi Baru

Uraian	Konstruksi Lama	Konstruksi Baru
Panjang Penghantar	1,5 meter	0,6 meter
Kecuraman Muka Gelombang ( $du/dt$ )	10.740 kV/ $\mu$ s	26.850 kV/ $\mu$ s
Nilai Kecuraman Arus Petir Maksimum ( $di/dt$ )	47,557 kA/ $\mu$ s	118,891 kA/ $\mu$ s
Arus Puncak Petir (I)	178,3032 kA	655,008 kA

Dari pembahasan yang telah dilakukan dan tabel 4.5 terlihat terjadi peningkatan kinerja *Lightning Arrester* yang sangat signifikan antara konstruksi baru sesuai SPLN D5.006. 2013 di KM 0003 dengan konstruksi lama sebesar 267,36 %. Hal ini terjadi akibat pengaruh dari panjang penghantar *Lightning Arrester* dengan transformator yang berbeda antara keduanya. Konstruksi baru di KM 0003 sesuai dengan SPLN D5.006. 2013 memiliki panjang penghantar *Lightning Arrester* dengan transformator lebih pendek yaitu sepanjang 0,6 meter. Sedangkan konstruksi lama di KM 0003 memiliki panjang penghantar *Lightning Arrester* dengan transformator sepanjang 1,5 meter. Sehingga, perbedaan panjang penghantar *Lightning Arrester* dengan transformator berpengaruh terhadap arus puncak petir yang mampu diterima oleh *Lightning Arrester*.

**KESIMPULAN DAN SARAN**

A. Simpulan

Dari pembahasan dan analisis yang telah dilakukan, maka dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. PT PLN (Persero) ULP Karangasem memiliki 2 model pemasangan *Lightning Arrester*, yaitu *Lightning Arrester* sebelum FCO dan *Lightning Arrester* setelah FCO.
2. Dengan kondisi iklim di wilayah Karangasem jarak proteksi maksimal *Lightning Arrester* dan transformator adalah 6,2245 meter, dimana arus puncak petir yang mampu diterima dari *Lightning Arrester* sebesar 23,6342 kA.
3. Jarak *Lightning Arrester* dan transformator dengan konstruksi lama yang ada di lapangan

- adalah 1,5 meter. Dimana jarak tersebut membuat arus puncak petir yang mampu diterima dari *Lightning Arrester* sebesar 178,3032 kA, sehingga dapat dikatakan jarak *Lightning Arrester* dan transformator dengan konstruksi lama masih dapat bekerja dengan maksimal.
4. Setelah menggunakan konstruksi baru sesuai dengan SPLN D5.006. 2013, jarak *Lightning Arrester* dan transformator di KM 0003 menjadi 0,6 meter. Jarak tersebut membuat arus puncak petir yang mampu diterima dari *Lightning Arrester* menjadi lebih tinggi yaitu 655,008 kA.
  5. Dari pemasangan konstruksi baru sesuai dengan SPLN D5.006. 2013, terjadi peningkatan kinerja *Lightning Arrester* sebesar 267,36 %.

#### B. Saran

Adapun saran yang dapat penulis berikan yaitu:

1. Arus puncak petir yang datang sewaktu-waktu bisa saja lebih besar dari rata-rata yang terjadi, sebaiknya PT PLN (Persero) ULP Karangasem mempercepat perubahan konstruksi *Lightning Arrester* dari sebelum FCO menjadi *Lightning Arrester* setelah FCO untuk meningkatkan keandalan jaringan.
2. Untuk meningkatkan pelayanan energi listrik ke pelanggan maka pihak PT PLN (Persero) ULP Karangasem sebaiknya melakukan pemeliharaan secara bertahap terhadap komponen listrik gardu distribusi, melakukan pemeliharaan lebih baik dari melakukan perbaikan.

## DAFTAR PUSTAKA

- BMKG Balai Besar Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika Wilayah III, 2020
- Daman Suswanto. 2009 , “*Sistem Distribusi Tenaga Listrik*”. Padang: Universitas Negeri Padang
- Hutauruk, T S. 1987. “*Pentanahan Netral Sistem Tenaga dan Pentanahan Peralatan*”. Jakarta: Erlangga.
- Kelompok Kerja Standar Kontruksi Disribusi Jaringan Tenaga Listrik dan Pusat Penelitian Sains dan Teknologi Universitas Indonesia, Buku 4 PLN. 2010. “*Standar Konstruksi Gardu Distribusi dan Gardu Hubung Tenaga Listrik*”. Jakarta.
- Sarimun, Wahyudi. 2012. “*Proteksi Sistem Distribusi Tenaga Listrik*”. Depok: Garamond
- SPLN D5.006. 2013. “*Pedoman Pemilihan Arrester Untuk Jaringan Distribusi 20kV* “ : PT PLN (Persero), 2013.
- SPLN U1.005. 2014. *Standar Implementasi Sistem Manajemen Keselamatan Dan Kesehatan Kerja* : PT PLN (Persero).
- SPLN 7. 1987. *Pedoman Pemilihan Tingkat Isolasi Transformator dan Penangkap Petir*. Jakarta: PLN

- Surya Santoso. 2018. “Pembangkitan Tegangan Tinggi Impuls”.  
<http://docplayer.info/73075582-Pembangkitan-tegangan-tinggi-impuls.html>. (01 Mei 2020)
- Syahputra, Ramadoni. 2016. “*Transmisi dan Distribusi Tenaga Listrik*”. Yogyakarta: LP3M UMY Yogyakarta
- Tim Teknik ULP Karangsem. 2019 “*Buku Pedoman Data Penyulang Subagan*” PT PLN (Persero) ULP Karangasem