

ANALISA KEGAGALAN LIGHTNING ARRESTER PADA PENYULANG SULAHAN BANGLI

I Kadek Agus Yodha Bhaskara¹, I Gede Dyana Arjana², I Made Suartika³
Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Udayana
Email : yodhabhaskara@gmail.com , dyanaarjana@eeunud.ac.id
, madesuartika@unud.ac.id

ABSTRAK

Dalam proses penyaluran daya listrik dapat terjadi berbagai macam gangguan sehingga diperlukan adanya sistem proteksi untuk menjaga kontinuitas dan stabilitas penyaluran daya listrik. Arrester merupakan salah satu sistem proteksi utama yang digunakan untuk melindungi peralatan listrik terhadap tegangan lebih yang disebabkan oleh sambaran petir. Penyulang Sulahan merupakan sistem distribusi tegangan menengah 20 kV yang mendapat suplai daya dari Gardu Induk Gianyar Trafo 1/60 MVA dan berada di dataran tinggi yang rawan terhadap fenomena alam berupa petir. Selama tahun 2016 terjadi tiga kali kegagalan arrester konvensional (Metal Oxide Arrester). Berdasarkan data tersebut perlu dilakukan analisis kegagalan terhadap arrester di Penyulang Sulahan sehingga kontinuitas tenaga listrik dapat menjadi lebih baik. Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah dengan pengumpulan data berupa single line diagram, data gangguan, dan nilai tahanan pentanahan pada Penyulang Sulahan. Selanjutnya membandingkan Metal Oxide Arrester dengan Multi Chamber Arrester. Hasil yang didapatkan adalah pentanahan pada Penyulang Sulahan melebihi 5 ohm yang menyebabkan arrester konvensional tidak dapat bekerja dengan baik. Multi Chamber Arrester merupakan arrester yang tidak berpengaruh pada nilai tahanan pentanahan. Setelah dipasang Multi Chamber Arrester, kegagalan arrester mengalami penurunan menjadi satu kali kegagalan selama tahun 2017.

Kata Kunci : Analisis Arrester 20 kV, Sistem Proteksi Distribusi, Multi Chamber Arrester

ABSTRACT

In the process of electrical power distribution, various types of interference can occur so that a protection system is needed to maintain the continuity and stability of electrical power distribution. Arrester is one of the main protection systems used to protect electrical equipment against overvoltages caused by lightning strikes. Penyulang Sulahan is a 20kV medium voltage distribution system that gets power supplies from Gianyar Substation 1/60 MVA and is located on a plateau that is prone to natural phenomena such as lightning. During 2016 there were three times the failure of conventional arresters. Based on these data, it is necessary to analyze the failure of arresters at Penyulang Sulahan so that the continuity of electricity can be better. The method used in this study is to collect data in the form of single line diagrams, disturbance data, and large grounding resistance on Sulahan Feeders. Next, compare Metal Oxide Arrester with Multi Chamber Arrester. The results obtained were grounding in the Feeder over 5 ohms which caused conventional arrester to not work properly. Multi Chamber Arrester is an arrester that has no effect on the value of grounding resistance. After installing the Multi Chamber Arrester, failure of arresters has decreased to one failure during 2017

Keywords : Arrester 20kV analysis, Distribution Protection System, Multi Chamber Arrester

1. PENDAHULUAN

Penyulang Sulahan Bangli merupakan sistem distribusi yang mendapat suplai daya dari Gardu Induk Gianyar Trafo I/60 MVA dengan panjang saluran 85,568 kms dan berada di dataran tinggi yang rawan terhadap terjadinya sambaran petir. Pada Penyulang Sulahan terdapat arrester konvensional dan *Ground Steel Wire*, peralatan tersebut mengalirkan tegangan lebih ke pembumian tanpa merusak komponen sistem jaringan yang lainnya. *Arrester* konvensional pada Penyulang Sulahan sering mengalami kegagalan saat terjadi surja petir. Pada tahun 2016 terjadi 3 kali kegagalan arrester konvensional [6].

Dari hasil pengukuran tahanan pembumian pada Penyulang Sulahan, pada jaringan gardu GA0137 adalah 8,10 Ω (ohm).

2. KAJIAN PUSTAKA

2.1 Sistem Jaringan Distribusi

Sistem distribusi tenaga listrik merupakan subsistem tenaga listrik untuk menyalurkan energi listrik dari sumber energi listrik besar sampai ke konsumen. Berdasarkan besarnya tegangan yang didistribusikan sistem jaringan distribusi dapat di bedakan menjadi 2, yaitu sistem distribusi primer dan sistem distribusi sekunder. Sedangkan berdasarkan konfigurasi jaringan, sistem distribusi dibagi menjadi 3 yaitu sistem distribusi radial, *ring/loop*, dan *spindle* [9].

2.2 Saluran Udara Tegangan Menengah (SUTM)

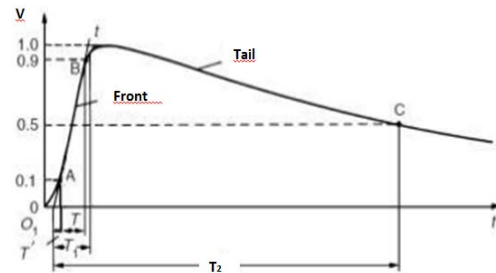
Saluran Udara Tegangan Menengah merupakan sistem penyaluran tenaga listrik melalui kawat penghantar tanpa isolasi. Saluran Udara Tegangan Menengah dapat ditunjukkan pada gambar 1 [5].



Gambar 1 Saluran Udara Tegangan Menengah (SUTM)

2.3 Gangguan Petir pada Sistem Distribusi Tenaga Listrik

Adanya surja petir pada kawat saluran udara akan menimbulkan energi yang mengalir pada kawat tersebut secara tiba-tiba. Pada kawat saluran udara, kecepatan merambat mampu mencapai 360.000 m/detik. Gelombang impuls penuh dapat ditunjukkan pada gambar 2 [1].



Gambar 2 Gelombang impuls penuh dengan t_1 10%

Tegangan impuls seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2 merupakan tegangan satu arah tanpa adanya osilasi yang cukup berarti, naik menuju nilai maksimum dengan cepat, dan turun menuju nilai nol lebih cepat atau dapat juga lebih lambat. [1]

2.4 Sambaran Langsung

Sambaran langsung pada waktu petir menyambar kawat tanah atau kawat fasa akan timbul arus besar dan sepasang surja yang merambat pada kawat. Besarnya arus atau tegangan akibat sambaran tergantung pada besar arus petir, [4].

a. Saluran tanpa kawat tanah

Pada saluran tanpa kawat tanah, hampir semua sambaran petir yang berpengaruh adalah arus puncak dengan kecuraman arus diabaikan [1].

$$I = I_0 \frac{Z_k}{Z_k + \frac{Z_s}{2}} \dots \dots \dots (1)$$

Z_k = Impedansi
 Z_s = Impedansi Surja

Untuk saluran udara dengan jari-jari konduktor (r) dan tinggi diatas permukaan tanah (h), akan mempunyai induktansi sebesar :

$$L = 2 \cdot 10^{-7} \ln \frac{2h}{r} [H/R] \dots \dots \dots (2)$$

Dan kapasitansi sebesar :

$$C = \frac{10^{-9}}{18 \ln \frac{2h}{r}} [F/m] \dots\dots\dots(3)$$

Impedansi surja :

$$Z_s = \sqrt{\frac{L}{C}} [\Omega] \dots\dots\dots(4)$$

b. Saluran dengan kawat tanah

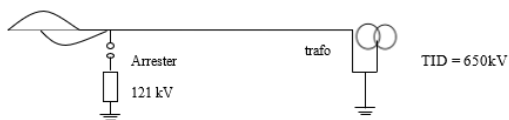
Pada saluran distribusi (SUTM) tidak semua tiang dibumikan, tetapi selang tiga sampai empat gawang tiang yang dibumikan mempunyai tahanan kontak 5 – 50 Ω dan yang tidak dibumikan bisa mencapai ribuan ohm tergantung jenis pondasi dan keadaan tanah.

2.5 Sambaran Tidak Langsung

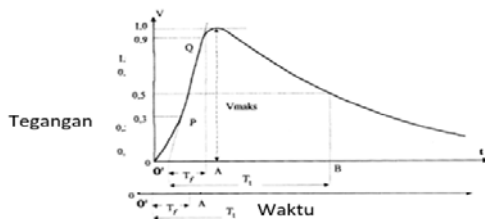
Bila terjadi sambaran petir ke tanah di dekat saluran, akan terjadi fenomena petir yang diakibatkan oleh medan elektromagnetis dari kanal petir. Fenomena petir ini terjadi pada kawat penghantar, akibatnya timbul tegangan lebih dan gelombang berjalan yang merambat pada kedua sisi kawat di tempat sambaran berlangsung.

2.6 Lightning Arrester

Lightning arrester adalah peralatan listrik terhadap tegangan lebih yang diakibatkan oleh sambaran petir dari suatu penyambungan atau pemutusan rangkaian (sirkuit), dengan jalan mengalirkan arus surja (*surge current*) ke dalam tanah serta mengembalikan keadaan jaringan ke keadaan semula tanpa mengganggu sistem. Skema sederhana dari *Lightning Arrester* dapat ditunjukkan pada gambar 3 sedangkan cara kerja dari *Lightning Arrester* dapat dilihat pada gambar 4 [3].



Gambar3 Skema sederhana *arrester*



Gambar 4 Kerja *arrester*

2.7 Tegangan Pengenal Arrester

Tegangan pengenal dari suatu *Arrester* merupakan tegangan rms fasa ke fasa tertinggi dikalikan dengan koefisien pembumian seperti yang ditunjukkan pada persamaan 5.

$$V_{Maksimum\ sistem} \times \text{koefisien pembumian} \dots\dots(5)$$

Karakteristik kerja *arrester* untuk arus 10 kA dan 5 kA dapat dilihat pada Tabel 1.[8]

Tabel 1 Karakteristik pada *arrester*

Pengenal <i>Arrester</i> (kV)	Kecuraman FOW (kV/μ det)	10 kA dan 5 kA	
		STD (kV)	FOW (kV)
3	25	13	15
4,5	37	17,5	20
6	50	22,6	26
7,5	62	28	31
9	76	32,5	38
12	100	43	50
15	125	54	62
18	150	65	75
21	175	76	88
24	200	87	100
27	225	97	112
30	250	108	125
33	275	119	137
36	300	130	150

Keterangan:

STD = Tegangan percikan impuls maksimum

FOW = Tegangan percikan impuls muka gelombang.

2.8 Tegangan kerja Arrester

Tegangan kerja *Arrester* biasa juga disebut tegangan pelepasan atau tegangan sisa. Tabel 2 merupakan tegangan kerja *Arrester* [8]

Tabel 2 Tegangan Kerja *Arrester*

<i>Rating Arrester</i> (kV)	10 kA, Tugas ringan & Tugas Berat (kV)	5 Ka (kV)	2,5 kA (kV)	1,5 kA (kV)
0,175	-	-	2,2	2,2
0,280	-	-	2,5	2,5
0,500	-	-	3,0	3,0
0,660	-	-	5,0	5,0
3	13	13	13	-
4,5	17,5	17,5	17,5	-
6	22,6	22,6	22,6	-
7,5	27	27	27	-
9	32,5	32,5	32,5	-
10	38	38	38	-
12	43	43	43	-
15	54	54	54	-
18	65	65	65	-
21	76	76	76	-
24	87	87	87	-
27	97	97	97	-
30	108	108	108	-
33	119	119	119	-
36	130	130	130	-
39	141	141	-	-

2.9 Nominal Discharge Current

Merupakan arus pelepasan dengan harga puncak dan bentuk gelombang tertentu untuk menentukan kelas *arrester* sesuai dengan :

a. Kemampuan melewati arus

Arrester harus dapat menyalurkan arus sesuai dengan kemampuannya. Dalam menentukan besar arus pelepasan *arrester*. Untuk menentukan arus pelepasan ditunjukkan pada persamaan 6 [1].

$$I_a = \frac{2V_p - V_a}{Z} \dots\dots\dots(6)$$

- V_p = Tegangan Puncak
- V_a = Tegangan nominal
- Z = Impedansi

b. Karakteristik perlindungan

Harga puncak surja merupakan tingkat ketahanan impuls saluran, sebagai faktor keamanan terhadap kemungkinan timbulnya variasi tegangan yang menyebabkan terjadinya lompatan api pada isolator saluran distribusi, maka ditambahkan toleransi 20 %. Jadi puncak surja yang akan mencapai lokasi *arrester*.

$$V_{puncak} = TID \text{ saluran} + 20 \% \dots\dots\dots(7)$$

c. Faktor Perlindungan

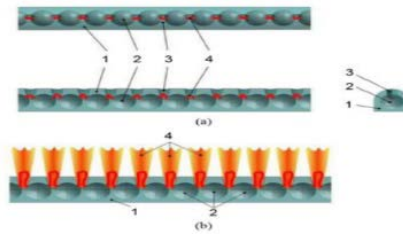
Faktor perlindungan adalah besar perbedaan tegangan antara BIL (*Basic Impulse Insulation Level*) dari peralatan yang dilindungi dengan tegangan kerja dari *arrester*. Pada umumnya besar faktor perlindungan ini adalah 20% dari BIL peralatan untuk *arrester* yang dipasang dekat dengan peralatan yang dilindungi. Untuk menentukan faktor perlindungan dapat digunakan persamaan 8.

$$FP = \frac{TID_{trafo-TP}}{TID_{trafo}} \times 100 \% \dots\dots\dots(8)$$

2.10 Multi Chamber Arrester (MCA)

Multi Chamber Arrester (MCA) merupakan *arrester* yang memiliki teknologi baru, MCA terdiri dari sejumlah besar elektroda yang dipasang pada tiang SUTM. MCA 20 digunakan untuk perlindungan SUTM dari sambaran petir dan tegangan lebih. MCA dirancang untuk beroperasi di luar ruangan pada suhu kamar mulai dari suhu minus 60°C dan 50°C suhu positif.

Cara kerja *Multi Chamber Arrester* dan Kinerja data ditampilkan pada gambar 5 [2].



- a) Diagram yang menunjukkan debit instan onset.
- b) Diagram yang menunjukkan instan debit akhir
 - 1) panjang karet silikon
 - 2) elektroda
 - 3) busur pendingin ruang
 - 4) debit saluran.

Gambar 5 Sistem kerja pada *Multi Chamber Arrester (MCA)*

Kinerja dari *Arrester Multi Chamber* di tampilkan pada Tabel 3.[2]

Tabel 3 Kinerja *Arrester Multi Chamber (MCA)*

Tingkatan tegangan (kV)	10	10 - 20	20	35
Tipe <i>Arrester</i> - MCA	10-I*	10-DLS**	20-DLS	35-DLS
Jumlah ruang pada busur pendingin	20	40	120	300
Maksimal 50% , Impuls tegangan kedip (flashover) (kV) :				
- Polaritas Positif (+)	70	85	90	150
- Polaritas Negatif (-)	70	85	85	120
Minimum menahan tegangan Frekuensi day (kV)				
- Saat dalam keadaan kering	42	65	65	95
- Saat dalam keadaan basah	28	50	50	70
Minimum besarnya impuls arus dalam 4/10 μs , bertahan pada (kA) :				
- 2 aplikasi	100	100	100	100
- 5 aplikasi	65	65	65	65

3. METODE PENELITIAN

Penelitian dilakukan berdasarkan data-data yang didapat dari PT. PLN

Area bali Timur berupa: single line diagram penyulang sulahan, gangguan (trip) karena sambaran petir dan data-data teknis pemasangan *Arrester* Konvensional dan *Multi Chamber Arrester* di penyulang Sulahan. Setelah semua data yang diperlukan telah diperoleh, maka akan dilanjutkan dengan pembuatan Analisa yang diawali dengan mempersiapkan parameter-parameter data yang akan digunakan, seperti *single line diagram* sistem distribusi, data gangguan (trip), dan data teknis *Arrester* Konvensional dan *Multi Chamber Arrester* di penyulang Sulahan.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Kinerja *Metal Oxide Arrester* pada Penyulang Sulahan

Jika *arrester* bekerja melebihi setengah dari tegangan puncak, maka *arrester* tersebut dapat dikatakan mengalami kegagalan.

4.2 Menentukan Tegangan Pengenal Pada *Arrester*

a. Tegangan pengenal *arrester* (*rating arrester*)

$$V_p = \text{Tegangan rms fasa tertinggi} \times 1,1 \times \text{koefisien pembumian} \\ = 24 \text{ kV} \times 0,8 = 19,2 \text{ kV}$$

Dari Tabel 1 tegangan pengenal *arrester* yang mendekati 19,2 kV adalah 21 kV. Tegangan Pengenal *arrester* pada Penyulang sulahan sudah sesuai dengan teori atau peraturan yang di keluarkan oleh SPLN, dimana tegangan pengenal *Arrester* pada Penyulang Sulahan adalah 24 kV.

b. Menentukan tegangan percikan implus maksimum

Berdasar Tabel 1 karakteristik *arrester* diperoleh tegangan percikan impuls maksimum sebesar 87 kV.

c. Menentukan tegangan percikan impuls muka gelombang

Besar tabel 1 karakteristik *arrester* diperoleh tegangan percikan impuls muka gelombang sebesar 100 kV.

d. Menentukan Tegangan Kerja *Arrester*

Berdasarkan tabel 2, tegangan kerja *arrester* diperoleh sebesar 87 kV,

sehingga *arrester* mampu secara maksimum memotong tegangan surja sebesar 87 kV.

4.3 Menentukan Arus Pelepasan *Arrester*

Arus pelepasan nominal (I_a) *arrester* digunakan untuk menentukan kelas dari *arrester*, arus pelepasan *arrester* adalah:

$$I_a = \frac{2V_{Puncak} - V_a}{Z}$$

Sebelum menentukan Arus pelepasan, terlebih dahulu harus menentukan tegangan terminal (V_a) dan Impedansi surja (Z).

a. Tegangan terminal *arrester* disebut juga dengan tegangan kerja *arrester*, sesuai dengan tabel 2, adalah sebesar 87 kV.

Sehingga :

$$V_a = 87 \text{ kV} = 87000 \text{ Volt} \\ Z = 60 \ln \frac{2h}{r}$$

Dimana :

$$h = \text{tinggi kawat fasa ke tanah} = 9 \text{ m} \\ r = \text{jari-jari konduktor kawat} = \frac{d}{2}$$

Penghantar yang digunakan adalah jenis Cu dengan luas penampang 1 x 50 mm² dan Al dengan luas penampang 1 x 70 mm². Diameter penghantar $d = 15,25 \text{ mm}$, maka:

$$r = \frac{15,25}{2} = 7,625 \text{ mm} = 7,625 \times 10^{-2} \text{ m}$$

Dengan demikian impedansi surja diperoleh :

$$Z = 60 \ln \frac{2 \times 9}{7,625 \times 10^{-2} \text{ m}} \\ = 327,846 \Omega$$

Sehingga arus pelepasan nominal *arrester* sebagai berikut :

$$I_a = \frac{2 \times 240000 - 87000}{327,846} = 1,2 \text{ kA}$$

Dari hasil ini dipilih *arrester* dengan kelas arus 2,5 kA, 5 kA atau 10 kA.

4.4 Menentukan Faktor Perlindungan

Tingkat perlindungan dapat ditentukan menggunakan rumus sebagai berikut :

$$TP = V_a \times 1,1$$

Dari rumus tersebut, dapat dihitung tingkat perlindungan dari *arrester* dengan tegangan pengenalan 24 kV dengan kelas arus 10 kA, dimana dari tabel karakteristik *Lightning Arrester* didapatkan besar dari V_a (tegangan terminal) adalah 87 kV, maka tingkat perlindungannya adalah :

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

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

Kemudian

$$FP = \frac{125-95,7}{125} \times 100\% = 23,44\%$$

Dari perhitungan tersebut, faktor perlindungan yang diperoleh adalah 23,44% dari 20% dari BIL peralatan pada umumnya.

4.5 Perhitungan Jarak Maksimum Arrester dengan SUTM pada Penyulang Sulahan Bangli

Kecepatan surja yang sering menyambar pada penyulang sulahan yaitu 4/10 μ s, dan besar arus surja yang sering menyambar rata-rata yaitu 39,8 kA. Dengan menggunakan rumus besar kenaikan tegangan akibat sambaran petir, maka dapat dihitung sebagai berikut :

$$\begin{aligned} V_{up \text{ max}} &= 0,4 \times 2,718 \frac{39,8}{4} \\ &= 10,81764 \text{ kV/ft} \\ &= 35,490944488 \text{ kV/m,} \end{aligned}$$

Jika jarak pemasangan arrester 1 meter ke saluran tegangan menengah, maka kenaikan tegangan pada saluran tegangan menengah adalah :

$$= 35,490944488 \text{ kV}$$

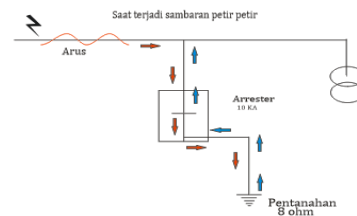
4.6 Tahanan Pembumian Metal Oxide Arrester pada Penyulang Sulahan

Pengukuran tahanan pentanahan pada Penyulang Sulahan pada 5 tempat yang berbeda.

Tabel 4 Hasil Pengukuran Tahanan Pentanahan Pada Penyulang Sulahan

No	Lokasi Pengukuran	Hasil Pengukuran
1	GA 0137	8,10 ohm
2	GA 0181	6,31 ohm
3	GA 0181	5,12 ohm
4	GA 0052	6,22 ohm
5	GA 0077	7,45 ohm

Pada tabel 4 terlihat nilai rata-rata tahanan pada Penyulang Sulahan adalah diatas 5 ohm, yang melibihi standar Persyaratan Umum Instalasi Listrik (PUIL) Standar resistan untuk pentanahan adalah sebesar 5 ohm atau di bawahnya.



Gambar 6 Aliran Arus listrik saat terjadi sambaran petir

4.7 Perbandingan Kegagalan Arrester sebelum dan sesudah pemasangan Multi Chamber Arrester Pada Penyulang Sulahan

Kegagalan pada *Lightning Arrester* sering terjadi pada saluran dari LBS Demulih menuju LBS Samplangan. Pada tahun 2016 terjadi 3 kali kegagalan *Metal Oxide Arrester*. Pentanahan pada Penyulang Sulahan berada pada nilai diatas 5 ohm, menyebabkan kurangnya kinerja *arrester* konvensional untuk menetralkan arus surja. Pada bulan agustus tahun 2016 PT. PLN Persero memasang *Multi Chamber Arrester* pada Penyulang Sulahan dimana *Multi Chamber Arrester* tersebut dapat berfungsi dengan baik tanpa bergantung pada nilai tahanan pentanahan.

Setelah pemasangan beberapa *Multi Chamber Arrester*, kegagalan *Arrester* menurun pada tahun 2017 seperti terlihat pada tabel 8.

Tabel 5 Kegagalan *Lightning Arrester*

No	Tahun	Jumlah kegagalan	Keterangan
1	2016	3	Ditemuka arrester jaringan jebol di sekitar gardu SS0045 Ditemuka arrester jaringan jebol di sekitar gardu GA0052 Ditemuka arrester jaringan jebol di sekitar gardu SS0069

2	2017	1	Ditemukan arrester Jaringan Jebol di sekitar gardu SS0013
---	------	---	---

5. KESIMPULAN

Hasil pengukuran, nilai tahanan pbumian pada daerah Penyulang Sulahan rata-rata 6,64 ohm. Pentanahan tersebut mengakibatkan terjadinya kegagalan pada *Metal Oxide Arrester*, karena *Metal Oxide Arrester* tidak dapat menyalurkan semua tegangan lebih ke tanah.

Multi Chamber Arrester tidak dapat menyalurkan semua tegangan lebih ke tanah, maka sisa tegangan lebih akan disalurkan kembali ke *arrester* dan di buang ke udara. Pada *Multi Chamber Arrester* terdapat bagian yang disebut dengan *Discharge channel* merupakan bagian saluran tempat peluahan untuk tempat *blow out* percikan busur api.

6. DAFTAR PUSTAKA

- [1] Gerry, 2016. Pemasangan Arrester Multi Chamber Untuk Mengatasi Gangguan Surja Petir di Penyulang Pecatu. Jimbaran : Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik,
- [2] G. V. Podporkin 2015. Overhead Lines Lightning Protection by Multi-chamber Arresters and Insulator-arresters. : IEEE Transactions on Power Delivery
- [3] Hutahuruk, T.S. 1988. Perhitungan Gangguan Kilat pada Saluran

Udara Tegangan Menengah. Bandung : Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknologi Industri. Institut Teknologi Bandung.

- [4] Jefanya Ginting, 2012. Analisa Efek Tegangan Induksi Karena Sambaran Petir Pada Area Operasional PT. X . Depok : Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Indonesia.
- [5] PT.PLN, 2010. Buku 5 Standar Konstruksi Jaringan Tegangan Menengah Tenaga Listrik. Jakarta: PT PLN (Persero).
- [6] PT.PLN, 2016 . Laporan Gangguan Penyulang Padam Tahun 2016.: PT PLN (Persero) Area Bali Timur.
- [7] Putra Rezkyan Nash, Analisis Pengaruh Resistansi Pentanahan Menara Terhadap Back Flahover Pada Saluran Transmisi 500 kV. Surabaya : Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- [8] SPLN D5.006, 2013. Pedoman Pemilihan *Arrester* Untuk Jaringan
- [9] Suswanto, 2009. Sistem Distribusi Tenaga Listrik. Padang : Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Padang.