

# ANALISA PENEMPATAN *LIGHTNING ARRESTER* PADA *CABLE HEAD 60* SEBAGAI PENGAMAN TRANSFORMATOR GIS BANDARA NGURAH RAI

I Putu Weda Jayanthana<sup>1</sup>, Cok. Gede Indra Partha<sup>2</sup>, I Gede Dyana Arjana<sup>3</sup>

Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Udayana

Email

: [jayanthanaweda@gmail.com](mailto:jayanthanaweda@gmail.com)<sup>1</sup>, [cokindra@unud.ac.id](mailto:cokindra@unud.ac.id)<sup>2</sup>, [dyanaarjana@unud.ac.id](mailto:dyanaarjana@unud.ac.id)<sup>3</sup>

## Abstrak

Jaringan transmisi 150 kV antara GIS (*Gas Insulated Switchgear*) Bandara Ngurah Rai dengan GI (Gardu Induk) Nusa Dua perlu diperhatikan lebih lanjut, mengingat banyaknya pelanggan VIP yang disuplai oleh GIS Bandara Ngurah Rai. Lokasi saluran transmisi GIS Bandara Ngurah Rai dengan GI Nusa Dua juga berada di area Bali Selatan, dimana tercatat menurut data dari BMKG tahun 2018 sebanyak 15.000-30.000 sambaran petir terjadi di area Bali Selatan. Peralatan yang digunakan untuk memproteksi peralatan dari gangguan surja petir salah satunya adalah *lightning arrester*. *Lightning arrester* yang digunakan pada jaringan GIS Bandara Ngurah Rai ke GI Nusa Dua di tempatkan pada *Cable head 60*. Saluran transmisi GIS Bandara Ngurah Rai dengan GI Nusa Dua dihubungkan dengan *overhead line* sejauh 8.5 km dan *underground cable* sejauh 2.02 km, yang dihubungkan dengan *terminating* pada *Cable head 60*. Jarak antara transformator GIS Bandara dengan *lightning arrester* sejauh 2.02 km, sehingga perlu dikaji lebih jauh guna mengetahui apakah perlindungan yang dihasilkan oleh *lightning arrester* sudah optimal atau belum. Hasil analisis didapatkan bahwa arrester dengan jarak pemasangan sejauh 2020 meter dari transformator masih mampu memotong surja petir, dengan hasil tegangan percik sebesar 606 kV yang melebihi tegangan percik arrester sebesar 577 kV akan tetapi tegangan percik tersebut masih dalam batas toleransi tegangan percik arrester.

**Kata Kunci** : *Lightning arrester*, Surja Petir, Jarak Penempatan

## Abstract

*The transmission line of 150 kV between GIS (Gas Insulated Switchgear) Bandara Ngurah Rai and GI Nusa Dua needs to be concerned further due to the high number of VIP customers supplied by the GIS Bandara Ngurah Rai. The location of transmission line of GIS Bandara Ngurah Rai with GI Nusa Dua is also located in the southern area of Bali in which according to the data of BMKG in 2018, it was recorded that 15.000-30.000 lightning strike occurred in the southern area of Bali. One of the devices used to protect the equipment from lightning surge is lightning arrester. Lightning arrester which is used in the network of GIS Bandara Ngurah Rai to GI Nusa Dua is placed on Cable head 60. The transmission line of GIS Bandara Ngurah Rai with GI Nusa Dua is connected by an overhead line of 8.5 km and an underground cable of 2.02 km, which is connected by terminating on Cable head 60. The distance between the Airport GIS transformer and the lightning arrester is 2.02 km, therefore it needs to be studied further in order to find out whether the protection generated by the lightning arrester has been optimal or not. The result showed that the arrester with an installation distance of 2020 meters from the transformer is still able to cut the lightning surges by producing the sparkover voltage value of 605.12 kv. Accordingly, the result of sparkover voltage exceeds the sparkover voltage of the arrester in the number of 577kv, however the voltage is still within the tolerance range of the sparkover voltage of the arrester.*

**Keywords** : *Lightning arrester, Lightning Surge, Placement Distance*

## 1. PENDAHULUAN

Energy listrik merupakan kebutuhan pokok bagi masyarakat pada era digital saat ini. GIS (*Gas Insulated Switchgear*) Bandara Ngurah Rai dibangun guna memenuhi kebutuhan pelanggan di area Bandara Ngurah Rai dan sekitarnya, dimana pelanggan yang dilayani kebanyakan merupakan pelanggan VIP, sehingga kehandalan GIS Bandara Ngurah Rai harus dijaga. Jaringan GIS Bandara Ngurah Rai ke arah GI Nusa Dua terletak di area Bali Selatan, dengan panjang jaringan *underground cable* tipe XLPE 3 x 1000 mm<sup>2</sup> sejauh 2,02 km dihubungkan pada terminal *Cable head* 60 dengan *overhead line* tipe TACSR HAWK 3 x 240 mm<sup>2</sup> sejauh 8,5 km. Data BMKG mencatat pada tahun 2018 terjadi sekitar 15.000-30.000 sambaran petir di area Bali Selatan [1].

Surja petir merupakan salah satu gangguan yang bisa menyebabkan rusaknya peralatan pada gardu induk. Sistem proteksi GIS Bandara Ngurah Rai dari surja petir menggunakan *arrester* yang dipasang pada *Cable head* 60. Jarak antara *arrester* dan transformator GIS Bandara Ngurah Rai sejauh 2,02 km yang dihubungkan dengan *underground cable*. *Arrester* yang dipasang sejauh 2,02 km dari peralatan yang dilindunginya membuat perlu dikaji lebih lanjut mengenai jarak maksimal pemasangan *arrester* dengan peralatan yang diproteksi guna memberikan hasil yang maksimal dalam pengoperasian *arrester* [2].

Pengaruh penempatan *lightning arrester* dalam mengamankan transformator 1 dan 2 GIS Bandara Ngurah Rai dari gangguan surja petir dapat diketahui secara matematis dengan pendekatan pada jarak maksimal pemasangan *arrester* dengan transformator sebagai peralatan yang dilindungi. Oleh karena itu, perlunya mengetahui pengaruh penempatan *arrester* terhadap kinerja *arrester* dalam memotong surja petir [2] [7].

## 2. KAJIAN PUSTAKA

### 2.1 Pengaruh Surja Petir

Surja petir yang menyambar jaringan secara langsung maupun secara induksi akan menyebabkan tegangan impuls yang akan merambat melalui jaringan kearah peralatan. Tegangan impuls yang merambat memiliki nominal diatas BIL (*Basic Insulation Level*) dari transformator, dengan nilai impuls 1,2 x 50

µs dan kelebihan tegangan ± 0,05 x Vs (tegangan puncak). Tegangan impuls yang memiliki nilai diatas BIL menyebabkan rusaknya isolasi transformator, sehingga perlunya perlindungan terhadap tegangan impuls [2].

#### 2.1.1 Kerapatan Sambaran Petir

Kerapatan sambaran petir menunjukkan indikasi sambaran petir ke bumi dalam rentang satu tahun di suatu wilayah. Persamaannya dapat dilihat di Persamaan 1 [2].

$$Ng = 0,15 \times IKL \dots \dots \dots (1)$$

Keterangan,

Ng = Kerapatan sambaran petir

IKL = Hari guruh per tahun

#### 2.1.2 Arus Puncak

Parameter arus puncak menentukan jatuh tegangan resistif pada tahanan pentanahan dan tahanan peralatan yang terkena sambaran [2].

#### 2.1.3 Traveling Wave

*Traveling Wave* atau gelombang berjalan digambarkan ketika suatu penghantar tenaga listrik ketika dialiri tegangan tidak akan langsung bertegangan, masih memerlukan waktu untuk tegangan itu sampai pada titik yang lain. Induktansi dan kapasitansi tanpa losses yang menyebabkan hal ini. Gelombang tegangan ini akan merambat bersamaan dengan gelombang arus dan mencapai ujung hantaran dalam waktu tertentu.

##### a. Menggunakan *Lightning Arrester*

Sambaran petir secara langsung menyebabkan terjadinya gelombang berjalan dengan tegangan impuls sebesar 1,2 x 50 µs. Tegangan yang merambat di saluran akan mengarah ke transformator dan menyebabkan kerusakan pada isolasi transformator, hal itu disebabkan tidak adanya *lightning arrester* yang digunakan untuk memotong tegangan impuls.

##### b. Tidak Menggunakan *Lightning Arrester*

Sambaran petir secara langsung menyebabkan gelombang berjalan dengan tegangan impuls sebesar 1,2 x

50 μs. tegangan yang merambat kearah transformator akan dipotong oleh *arrester* sehingga tegangan impuls dari surja petir tidak menyebabkan kerusakan pada isolasi transformator karena tegangan yang lewat kearah transformator tidak melebihi TID dari transformator [2].

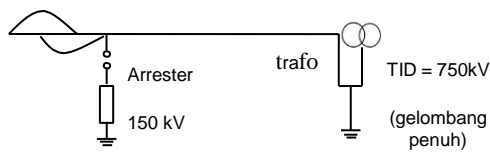
**2.2 Pengertian Lightning Arrester**

*Lightning arrester* merupakan peralatan yang digunakan untuk memotong tegangan surja hubung dan surja petir. Surja merambat pada jaringan ketika terjadinya peristiwa sebagai berikut [7]:

1. Backflashover akibat nilai pentanahan yang tinggi, baik di gardu induk ataupun di saluran transmisi
2. Sambaran langsung terhadap jaringan

Surja petir yang menyambar jaringan secara langsung/ tak langsung menyebabkan terjadinya gelombang berjalan/ *traveling wave* dengan kecepatan mendekati kecepatan cahaya berjalan merambat di jaringan. Surja petir dengan orde gelombang mikro detik sangat berbahaya jika tiba pada peralatan dengan nilai tegangan yang lebih tinggi dari BIL (*Basic Intulation Level*) transformator. *Lightning arrester* dipasang untuk memotong tegangan surja dengan cara mengalirkan arus surja ke tanah [5] [7].

Prinsip kerja *arrester* ditunjukkan pada gambar berikut.



Gambar 1. Skema *Lightning arrester*

Gelombang berjalan yang terjadi karena adanya sambaran petir pada kawat saluran menimbulkan *traveling wave*. Surja yang merambat terdiri dari surja tegangan dan surja arus. Surja saat mencapai titik peralihan akan mengalami kenaikan pada gelombangnya sehingga terjadi perbedaan dengan gelombang asal [4].

Tegangan impuls yang terjadi akibat surja pada kawat saluran menyebabkan arrester sudah bekerja pada level 0,3 p.u sampai dengan level 0,5 p.u. *Lightning arrester* belum bekerja memotong

surja saat level 0,5 p.u maka bisa dikatakan terjadi kegagalan fungsi dari *lightning arrester* tersebut [9].

**2.3 Tegangan Sistem Maksimum**

Nilai tegangan sistem maksimum umumnya digunakan 110% dari harga tegangan nominal sistem, dapat dilihat dari Persamaan 2 [8].

$$V_{max} = V_{nominal} \times 110\% \dots \dots \dots (2)$$

Keterangan :

$V_{max}$  = Tegangan Maksimum (V)

**2.4 Tegangan Pengenal Lightning Arrester**

Tegangan *lightning arrester* pada saat bekerja sesuai karakteristiknya yang disebut tegangan pengenal. *Lightning arrester* umumnya tidak boleh bekerja jika ada gangguan fasa ke tanah, karena tegangan pengenalnya lebih tinggi dari tegangan gangguan fasa ke tanah. Persamaannya dapat dilihat pada Persamaan 3 [8].

$$E_a = V_{nominal} \times \text{Koefisien Pentanahan} \times 100\% \dots \dots \dots (3)$$

Keterangan :

$E_a$  = Tegangan Pengenal

$V_n$  = Tegangan Sistem

Koefisien Pentanahan = 0,8

**2.5 Arus Pelepasan**

Arus pelepasan merupakan nilai puncak arus impuls sebesar 8/20 μs menurut standar, dan digunakan untuk mengklasifikasikan arrester. Persamaan untuk menentukan arus pelepasan ditunjukkan dengan Persamaan 5 [8] :

$$I_a = \frac{2E - E_a}{Z + R} \dots \dots \dots (4)$$

$$R = \frac{\text{Tegangan Nominal}}{\text{Arus Nominal}} \dots \dots \dots (5)$$

Keterangan :

$I_a$  = Arus pelepasan arester (A)

$E$  = Tegangan surja yang datang (kV)

$E_a$  = Tegangan terminal arester (kV)

$Z$  = Impedansi kawat transmisi (Ω) Impedansi Surja (Surja Impedance)

$R$  = Resistansi Saluran (Ω)

**2.6 Pemilihan Tingkat Isolasi Dasar**

TID (Tingkat Isolasi Dasar) adalah tingkat isolasi terhadap surja petir, dimana agar arrester masih dalam kordinasi isolasi

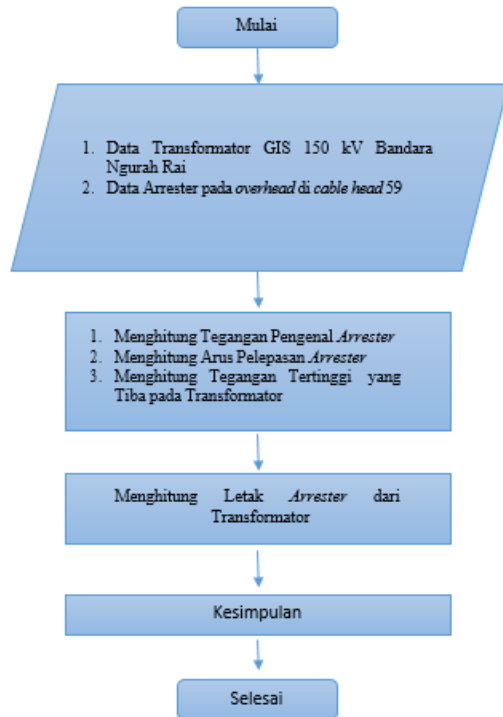


dengan transformator dengan perhitungan kordinasi lokasi *lightning arrester* sesuai dengan Persamaan 9.

- Melakukan simulasi kerja *lightning arrester* dengan menggunakan DigSilent.

### 3.2 Alur Analisis

Alur tahapan penelitian yang dilakukan dapat dilihat pada Gambar 3 berikut.



Gambar 3. Alur Tahapan Analisis

## 4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Mengetahui pengaruh penempatan *lightning arrester* sebagai proteksi transformator dengan jarak *lightning arrester* dengan transformator sejauh 2020 meter.

### 4.1 Pemilihan *Lightning Arrester* pada Transformator 60 MVA

#### 4.1.1 Menentukan Tegangan Sistem Maksimum

Tegangan sistem maksimum dapat dicari dengan menggunakan Persamaan 2.

$$\begin{aligned}
 V_m &= V_{nominal} \times 110\% \text{ (faktor toleransi)} \\
 &= 150 \text{ kV} \times 1,1 \\
 &= 165 \text{ kV}
 \end{aligned}$$

Mengacu pada standar PLN

dimana tegangan maksimum dapat mencapai 170 kV, maka tegangan sistem maksimum yang dipakai adalah 170 kV.

#### 4.1.2 Menentukan Tegangan Pengenal *Lightning Arrester*

Tegangan pengenal *lightning arrester* didapat memakai Persamaan 3.

$$\begin{aligned}
 E_a &= (V_{nominal} \times \text{Koef. Tanah}) \times 110\% \\
 E_a &= (150 \text{ kV} \times 0,82 \Omega) \times 110\% \\
 &= 135 \text{ kV}
 \end{aligned}$$

Tegangan pengenal *lightning arrester* yang didapat sebesar 135 kV, dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Nilai Maksimum Tegangan Lebih Gelombang Petir

Arrester rating kV	Front steepness kV/ $\mu$ s	10 kA Light-and heavy-Duty and 5 kA, Serie A	
		Std. kV, peak	EQW kV, peak
1	2	3	4
108	870	363	418
120	940	940	463
126	980	420	495
135	1.030	500	577
174	1.160	570	660
186	1.180	610	702
198	1.200	649	746

Sumber : PT. PLN Persero

#### 4.1.3 Menentukan Tegangan Percik Impuls Maksimum

Tegangan percik impuls maksimum *lightning arrester* dengan tegangan operasi pada sistem 150 kV didapat nilai nya berdasarkan tabel 2 sebesar 577 kV.

#### 4.1.4 Menentukan Arus Pelepasan *Lightning Arrester*

Arus pelepasan *lightning arrester* dapat ditentukan dengan menggunakan Persamaan 4.

- Arus nominal transformator 60 MVA didapatkan sebesar 1732 A.
- Hambatan saluran dapat ditentukan menggunakan Persamaan 4 berikut

$$\begin{aligned}
 R &= \frac{150 \text{ kV}}{1732 \text{ A}} \\
 &= 86 \Omega
 \end{aligned}$$

- Arus pelepasan *lightning arrester* untuk mengisolasi transformator 60 MVA didapat dengan perhitungan Persamaan 3 berikut.

$$\begin{aligned}
 I_a &= \frac{2(1030) - 138}{400 + 173} \\
 I_a &= 3,35 \text{ kA}
 \end{aligned}$$

## 4.2 Karakteristik Lokasi *Lightning Arrester* dengan Tingkat Isolasi Transformator 60 MVA

### 4.2.1 Perhitungan Jarak *Lightning Arrester* dengan Transformator 60 MVA

Data eksisting *lightning arrester* pada transformator 60 MVA GIS Bandara Ngurah Rai dapat dilihat pada tabel 3 berikut.

Tabel 3. Data Eksisting Pengujian pada Transformator 60 MVA GIS Bandara Ngurah Rai

Tegangan sistem (kV)	TID Transformator (kV)	TID <i>Lightning arrester</i> (kV)	Tegangan Percik (kV)	Jarak <i>Arrester</i> ke Transformator (m)	Kecepatan Rambat Surja
150	750	650	577	2020	300

Sumber : PT. PLN Persero (GIS Bandara Ngurah Rai)

Jarak maksimum pemasangan *lightning arrester* terhadap transformator dapat ditentukan dengan data yang diperoleh dari Tabel 3.

Diketahui :

Tegangan Percik *Arrester* ( $E_a$ ) = 577 kV  
 TID *Lightning arrester* ( $E_p$ ) = 650 kV  
 Kecuraman Gelombang ( $A$ ) = 1000 dv/dt  
 Rambat Gelombang = 300 m/ $\mu$ det  
 Rambat Gelombang (UGC) = 600 m/ $\mu$ det

Surja petir datang dengan kecuraman gelombang sebesar 1000 dv/dt, maka dapat ditentukan jarak maksimal pemasangan *lightning arrester* dari transformator dengan menggunakan Persamaan 10.

$$EP = EA + 2 \frac{A \cdot S}{v}$$

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

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

Jadi jarak maksimum pemasangan *lightning arrester* dengan transformator adalah sejauh 10,96 meter. Kenyataan di lapangan *lightning arrester* dipasang sejauh 2020 meter dari transformator, sehingga pemasangan *lightning arrester* sejauh 2020 meter perlu dihitung dengan teori, dapat dijabarkan dengan perhitungan terbalik Persamaan 10.

$$EP = EA + 2 \frac{A \cdot S}{v}$$

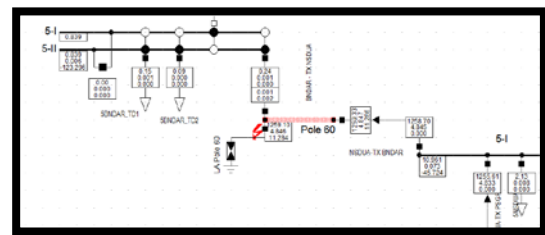
$$650 = EA + 2 \frac{1000 \cdot 2020}{600}$$

$$EA = 650 - 44 = 606 \text{ kV}$$

Hasil perhitungan pemasangan *lightning arrester* sejauh 2020 meter didapat hasil EA (tegangan percik *arrester*) sebesar 606 kV. Tegangan percik *arrester* sebesar 606 kV melebihi tegangan percik *arrester* pada *lightning arrester* dengan tegangan kerja 135 kV yaitu dengan tegangan percik *arrester* sebesar 577 kV, dan kurang dari tegangan percik *arrester* pada *lightning arrester* dengan tegangan kerja 174 kV dengan tegangan percik *arrester* sebesar 660 kV.

### 4.3 Simulasi Penempatan *Lightning Arrester*

Hasil simulasi penempatan *lightning arrester* sejauh 2020 meter dari transformator sebagai berikut.



Gambar 4. Simulasi *Lightning arrester* pada Pole 60 GIS Bandara (jarak 2020 meter dari transformator)

Hasil simulasi penempatan *lightning arrester* yang ditempatkan pada *Cable head* 60 GIS Bandara Ngurah Rai dengan jarak 2020 meter dari peralatan yang dilindungi. Simulasi dilakukan dengan memberikan surja petir pada area *Cable head* 60, diketahui bahwa pemotongan gelombang surja petir masih kurang maksimal dilakukan oleh *lightning arrester* dengan indikator masih adanya sisa tegangan dan arus yang melebihi TID transformator yang lewat ke arah transformator sebesar 60 kV dan 0,001 kA.

Tabel 4. Hasil Simulasi Pemasangan *Lightning arrester* Sejauh 2020 Meter

No	Indikator	2020 Meter
1	Tegangan	60 kV
2	Daya	0,24 MVA
3	Arus	0,001 kA
4	Tegangan Percik	605,12 kV

Data dari tabel 4 didapatkan hasil simulasi pemasangan *lightning arrester* dengan jarak 2020 meter di simulasikan dengan menggunakan aplikasi *DigSilent*. Hasil running menggunakan *DigSilent* dimana simulasi diberikan surja di area *cable head* 60 pada simulasi dengan jarak 2020 meter, arrester tidak bisa memotong surja petir sesuai dengan TID dari peralatan, sehingga ada tegangan dan arus yang lewat ke arah transformator sebesar 60 kV dan 0,001 kA. Tegangan sebesar 60 kV masih dalam toleransi dari TID transformator.

Jadi dapat dianalisis bahwa pemasangan *lightning arrester* dengan jarak 2020 meter dari peralatan masih mampu bekerja memotong surja petir. Pembuktian secara teori dengan Persamaan 10 didapatkan bahwa tegangan percik arrester yang dipasang sejauh 2020 meter sebesar 606 kV, dimana tegangan percik tersebut melebihi standar tegangan percik arrester sebesar 577 kV, akan tetapi tegangan percik sebesar 606 masih dalam batas toleransi tegangan percik arrester. Simulasi pemasangan arrester sejauh 2020 meter menunjukkan indikator adanya tegangan dan arus yang melebihi TID peralatan yang dilewatkan oleh arrester sebesar 60 kV dan 0,001 kA. Tegangan 60 kV yang dilewatkan oleh arrester jika terjadi sekali tidak akan berpengaruh terhadap transformator, dimana TID transformator 650 kV dengan toleransi sampai dengan 750 kV, akan tetapi jika surja yang terjadi terus menerus dan tegangan tidak dapat dipotong secara maksimal akan menyebabkan transformator lebih cepat terjadi kebocoran minyak transformator.

## V. SIMPULAN

*Lightning arrester* yang ditempatkan sejauh 2020 meter menghasilkan tegangan percik sebesar 606 kV, tegangan percik itu melebihi tegangan percik arrester yaitu 577 kV, akan tetapi masih dalam batas toleransi tegangan percik arrester. Hasil pengujian menggunakan simulasi menunjukkan

indikator dimana pada saat *lightning arrester* ditempatkan sejauh 2020 meter masih adanya tegangan dan arus sebesar 60 kV dan 0,001 kA yang melebihi TID dari transformator tetapi masih dalam toleransi TID transformator dengan TID sebesar 650 kV memiliki toleransi sampai dengan 750 kV. Penempatan *lightning arrester* sejauh 2020 meter dari transformator memiliki pengaruh terhadap tegangan percik akan tetapi tidak berpengaruh terhadap kinerja arrester dalam mengamankan transformator.

## VI. DAFTAR PUSTAKA

- [1] PT. PLN (Persero). 2018. Pengujian Lightning Arrester UPT Bali. Bali.
- [2] Rahmawati, Yuni. 2004. Optimasi Peletakan Arrester pada Saluran Distribusi Kabel Cabang Tunggal Akibat Surja Petir Gelombang Penuh. Malang : Universitas Negeri Malang, 1. 1693-8739
- [3] Hinrichsen, Volker. 2012. *Metal-Oxide Surge Arresters in High-Voltage Power Systems*. Germany: Siemens.
- [4] Bandri, Sepannur. 2015 Analisa Gangguan Petir Sutt 150 kV Dengan Memperhatikan Tegangan Pada *Lightning arrester* Dan Trafo. Tugas Akhir. Padang: Institut Teknologi Padang, 4. 1.
- [5] Hidayatulloh, N. Kemampuan Arestor. Untuk Pengaman Tranformator Pada Gardu Induk Sronдол 150 kV. Tugas
- [6] Team O & M. 1981. *Operasi dan Memelihara Peralatan*". Jawa Barat dan Jakarta: PLN Pembangkitan.
- [7] Rusdjaja, Tatang. 2010. *Buku Pedoman Pemeliharaan Lightning arrester (LA)*. Jakarta Selatan: PT PLN (Persero).
- [8] Kelompok Bidang Transmisi Standardisasi. 2014. *Spesifikasi Arrester Untuk Jaringan Transmisi 66 kV, 150 kV, 275 kV DAN 500 kV*. Jakarta Selatan: PT PLN (Persero).
- [9] T. S. Hutaeruk. 1991. "Gelombang Berjalan dan Proteksi Surja". Jakarta: Erlangga.
- [10] IEEE/IEC *Lightning arresters Class 4 Ratings*. 2015. IEC60099-4 CLASS 4 IEEE C62.11. *IEEE/IEC Lightning arrester, Arresters for AC*

*and DC Application.* GE Digital  
Energy.