

# Pemasangan *Arrester Multi Chamber* Untuk Mengatasi Gangguan Surja Petir di Penyulang Pecatu

I Gede Gerry Julius Perdana<sup>1</sup>, I Gede Dyana Arjana<sup>2</sup>, I Wayan Arta Wijaya<sup>3</sup>

**Abstract** — *Pecatu feeder is a feeder that has a radial distribution system configuration, the length of the line is 31 kms . In addition, these feeders have as many as 105 pieces of distribution transformers with a total number of subscribers reached 11,800 subscribers. To protect the feeder from lightning surge interference, then Arrester Multi Chamber are installed on each goalpost to the distribution network to protect the distribution channel in Pecatu feeder. This research is an analysis about installation of Multi Chamber Arrester ini Pecatu Feeder with purpose, how to knows about technical data and performance from Installation of Multi Chamber Arrester at along of distribution line of Pecatu Feeder and knows the disturbance data caused by the lightning strike. By placing the arrester approximately 200 meters in every four to five poles , Obtained a voltage increase when experiencing lightning surge with wave speed 4/10  $\mu$ s, with time to peak 10  $\mu$ s . Whereas with a 65 kA current flow of 4,147.1831 kV, while for a 20 kA surge current with a placement of arresters on each distribution line, the wave velocity and the time to the same peak are 713,385827 kV.*

**Intisari**—Penyulang Pecatu merupakan penyulang yang memiliki konfigurasi sistem distribusi tipe radial, dengan panjang saluran 31 kms. Selain itu, penyulang ini memiliki trafo distribusi sebanyak 105 buah dengan total jumlah pelanggan mencapai 11.800 pelanggan. Untuk melindungi penyulang dari gangguan surja petir , maka dipasang *Arrester Multi Chamber* tiap satu tiang pada saluran distribusi untuk melindungi saluran distribusi pada Penyulang Pecatu. Pemasangan *Arrester Multi Chamber* di penyulang Pecatu dengan tujuan, yaitu mengetahui bagaimana data teknis dan kinerja dari pemasangan *Arrester Multi Chamber* di sepanjang jaringan distribusi di penyulang Pecatu dan mengetahui data gangguan yang ditimbulkan oleh sambaran petir. Dengan penempatan *arrester* sekitar berjarak 200 m di setiap empat sampai lima tiang, diperoleh kenaikan tegangan saat mengalami surja petir dengan kecepatan gelombang 4/10  $\mu$ s, dengan waktu sampai ke puncak 10  $\mu$ s, dimana dengan arus surja 65 kA yaitu 4.147,1831 kV, sedangkan untuk arus surja 20 kA dengan penempatan *arrester* pada tiap gawang saluran distribusi , kecepatan gelombang dan waktu sampai ke puncak yang sama didapatkan kenaikan tegangan yaitu 713, 385827 kV

**Kata Kunci:** *Arrester Multi Chamber* , Panjang Penyulang , Penempatan *Arrester*

## I. PENDAHULUAN

Pada zaman globalisasi ini, listrik sangat dibutuhkan oleh masyarakat umum. Karena energi listrik yang dibutuhkan

<sup>1</sup>Mahasiswa, Jurusan Teknik Elektro dan Komputer Fakultas Teknik Universitas Udayana, BTN Dalung Indah Blok F12 , Dalung, Kuta Utara, Badung 80361 INDONESIA (telp: 082147551549; e-mail: [juliusperdanaa@gmail.com](mailto:juliusperdanaa@gmail.com))

<sup>2,3</sup>Dosen, Jurusan Teknik Elektro dan Komputer Fakultas Teknik Universitas Udayana, Jln. Kampus Bukit Jimbaran 80361 INDONESIA (telp: 0361-703315; fax: 0361-4321; e-mail: <sup>1</sup>[dyana.arjana@unud.ac.id](mailto:dyana.arjana@unud.ac.id), <sup>2</sup>[artawijaya@ee.unud.ac.id](mailto:artawijaya@ee.unud.ac.id))

haruslah memiliki kualitas yang baik , serta permintaan kebutuhan energi listrik yang terus meningkat[1] . Di Area Bali Selatan khususnya di Penyulang Pecatu, merupakan sistem distribusi tegangan menengah 20 kV yang mendapat suplai daya dari Gardu Induk Nusa Dua Trafo III/ 60 MVA . Di penyulang Pecatu terdapat beberapa pada tiang SUTM terdapatlah *arrester* yang merupakan sistem proteksi pada sistem distribusi untuk melindungi dari surja petir. *Lightning Arrester* di penyulang Pecatu sebelumnya mengalami kegagalan dalam proteksi , karena di Pecatu daerahnya tinggi dan tanah nya mengandung kapur , sehingga resistivitas pada tanah melebihi batas yang diharapkan dan *arrester* pun terkadang tak mampu mengalirkan listrik ke tanah atau *grounding*[11].

Gangguan petir adalah gejala tegangan berlebih yang disebabkan oleh arus sambaran petir. Tegangan berlebih maksudnya adalah tegangan yang memiliki amplitudo yang sangat besar dan berlangsung sangat singkat. Tegangan berlebih menyebabkan peralatan isolasi dan komponen dalam sistem tenaga listrik , jika tegangan melebihi BIL (*Basic Insulation Level*) peralatan isolasi serta komponen sistem tenaga listrik yang digunakan. Arus petir pada saluran distribusi dapat berupa sambaran langsung dan tak langsung yang menyebabkan saluran distribusi terganggu dalam menghantarkan listrik [2]. Apabila arus listrik yang mengalir pada isolator saluran lebih besar atau sama dengan tegangan *critical flashover* maka akan terjadi *breakdown* sehingga akan mengakibatkan *trip* pada saluran distribusi.

Berdasarkan hal ini , adapun pemasangan *arrester* teknologi baru di PT PLN (Persero) Area Bali Selatan yang dilakukan di penyulang Pecatu. Inovasi baru pada teknologi *arrester* telah dibuat oleh penampilan *Arrester Multi Chamber*. *Arrester* jenis ini memiliki prinsip dasar yang sama dengan teknologi sebelumnya yang menggunakan celah udara dan tekanan udara. MCA memiliki fungsi untuk melindungi saluran udara dari surja petir. Misalnya, 20 kV saluran udara , pengujian lapangan telah dibentuk untuk mendapatkan analisis tentang *Arrester Multi Chamber* . pengujian *arrester* telah dilakukan pada saluran udara tegangan menengah 20 kV dari Penyulang Pecatu.

## II. ARRESTER MULTI CHAMBER SEBAGAI PENANGKAP SAMBARAN PETIR

### A. *Lightning Arrester*

*Lightning arrester* adalah suatu alat untuk melindungi isolasi atau peralataam listrik terhadap tegangan lebih yang disebabkan sambaran petir atau tegangan transient yang tinggi dari suatu penyambungan atau pemutusan rangkaian (sirkuit), dengan jalan mengalirkan arus surja (*Surge Current*) ketanah serta membatasi berlangsungnya arus ikutan (*Follow*

Current) serta mengembalikan keadaan jaringan ke keadaan semula tanpa mengganggu sistem[5].

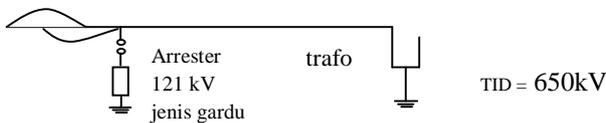
Lightning arrester sebagai pelindung peralatan listrik terhadap tegangan lebih akibat surja petir dan surja hubung serta mengalirkan arus ke tanah. Lightning arrester dilengkapi dengan:

- a. Sela bola api (Spark gap)
- b. Tahanan kran atau tahanan tidak linier (valve resistor)
- c. Sistem pengaturan atau pembagian tegangan (grading system)

Beberapa jenis lightning arrester, antara lain:

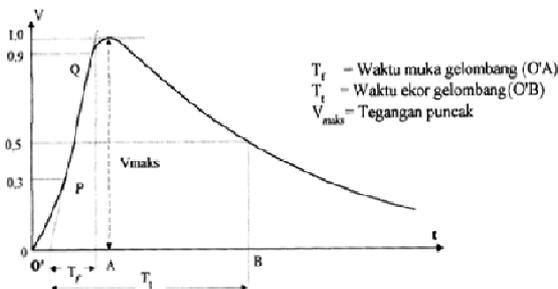
- a) Type expulsion : terdiri dari dua elektroda dan satu fibre tube. Tabung fibre menghasilkan gas saat terjadi busur api dan menghembuskan busur api ke arah bawah. Setelah busur hilang maka arrester bersifat isolator kembali. Jenis lightning arrester tabung ledak (expulsion) ini mempunyai pengaman yang lebih baik, khususnya pada saluran yang mempunyai tingkat gangguan yang rendah[5].
- b) Type Valve: bila tegangan surja petir menyambar jaringan dan dimana terdapat lightning arrester terpasang maka seri gap akan mengalami kegagalan mengakibatkan terjadi arus yang besar melalui tahanan kran yang saat itu mempunyai nilai kecil. Bila tegangan telah normal kembali maka tahanan kran mempunyai nilai besar sehingga busur api akan padam pada saat tegangan susulan sama dengan nol[5].

B. Analisa Kerja Arrester



Gambar 1. Skema Sederhana Arrester

Sambaran petir yang menyambar saluran dapat menimbulkan gelombang berjalan pada kawat saluran. Rambatan surja terdiri dari surja tegangan dan surja arus dengan kecepatan yang bergantung pada konstanta-konstanta kawat[5]. Pada saat surja mencapai titik peralihan akan terjadi kenaikan pada gelombang tersebut sehingga terdapat sedikit perbedaan dengan gelombang asal. Bentuk gelombang berjalan dengan nilai sesaat digambarkan sebagai berikut.



Gambar 2. Cara Kerja Arrester

Pada saat adanya tegangan lebih pada kawat fasa arrester sudah mulai bekerja pada saat tegangan yang masuk ke arrester sudah mencapai level 0,3 p.u sampai 0,5 p.u . Bila saat melewati angka 0,5p.u arrester belum memotong tegangan lebih maka arrester di katakan gagal. Pada saat gelombang transient melewati tegangan arester maksimum 121kV `dengan TID (tingkat isolasi dasar) gelombang penuh 650 kV maka akan dapat merusak peralatan. Untuk itu alat pengaman relay OC (Over Current) dan EF (Earth Fault) membackup atau mengamankan gelombang transient dengan mengirim perintah trip (lepas) kepada Pemutus Tenaga (PMT) atau Circuit Breaker (CB) dan langsung di tanahkan.

C. Tegangan Pengenal Arrester

Tegangan pengenal arrester adalah tegangan saat arrester dapat bekerja sesuai dengan karakteristiknya. Arrester tidak boleh bekerja pada tegangan maksimum sistem, tetapi mampu memutuskan arus susulan dari sistem secara efektif. Arrester umumnya tidak boleh bekerja jika ada gangguan fasa ke tanah, karena tegangan pengenalnya lebih tinggi dari tegangan gangguan fasa ke tanah[11].

Untuk menentukan tegangan maksimum yang mungkin terjadi pada gangguan fasa ke tanah, perlu diketahui :

- a. Tegangan maksimum sistem

Umumnya diambil harga 10 % dari harga nominal sistem

- b. Koefisien pembumian.

Didefinisikan sebagai perbandingan antara tegangan rms fasa ke tanah, dalam keadaan gangguan pada tempat dimana arrester dipasang dengan tegangan rms fasa ke tanah tertinggi dari sistem dalam keadaan tanpa gangguan.

Untuk sistem yang dibumikan koefisien pembumiannya 0,8 (arrester 80%) dan sistem yang tidak dibumikan langsung koefisien pembumiannya 1,0. Tegangan pengenal dari suatu arrester merupakan tegangan rms fasa ke fasa tertinggi dikalikan dengan koefisien pembumian.

Jika dibumikan langsung :

$$V_m = 1,1 \times V_{fn} = 1,1 \times V_{nom} / \sqrt{3}$$

Jika tidak dibumikan langsung :

$$V_m = V \times 1,10 \times 1,0$$

D. Tegangan Kerja Arrester

Tegangan kerja arrester biasa juga disebut tegangan pelepasan atau tegangan sisa, merupakan tegangan yang timbul pada terminal arrester pada saat arus petir mengalir ke tanah[11].

Tegangan kerja biasa juga disebut tegangan pelepasan atau tegangan sisa, merupakan tegangan yang timbul pada terminal arrester pada saat arus petir mengalir ke tanah. Tegangan kerja arrester tergantung pada kecuraman gelombang arus yang datang.

Pada tabel II merupakan tegangan kerja arrester berdasarkan SPLN 7C, 1978.



TABEL I  
 KARAKTERISTIK KERJA ARRESTER UNTUK ARUS 10 KA DAN 5 KA  
 BERDASARKAN SPLN

Rating Arrester (kV)	Kecuraman FOW (kV/ $\mu$ det)	10 kA dan 5 kA		5 kA	
		STD (kV)	FOW (kV)	STD (kV)	FOW (kV)
3	25	13	15	13	15
4,5	37	17,5	20	17,5	20
6	50	22,6	26	22,6	26
7,5	62	28	31	28	31
9	76	32,5	38	32,5	38
2	100	43	50	43	50
15	125	54	62	54	62
18	150	65	75	65	75
21	175	76	88	76	8
27	225	97	112	97	112
30	250	108	125	108	125
33	275	119	137	119	137
36	300	130	150	130	150

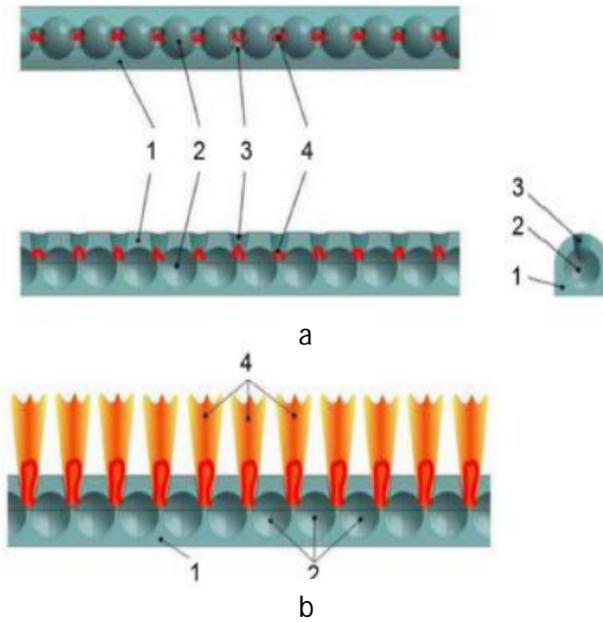
TABEL II  
 TEGANGAN KERJA ARRESTER

Rating Arrester (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	-	-

E. Arrester Multi Chamber

Arrester Multi Chamber merupakan Arrester teknologi terbaru yang terdiri dari sejumlah besar elektroda dipasang di panjang karet silikon. Lubang dibor antar elektroda dan melalui langkah panjang dan bertindak sebagai ruang luahan atau discharge gas miniatur. Ketika impuls petir tegangan diterapkan ke arrester, itu merusak kesenjangan antara elektroda[2].

Arrester Multi Chamber (MCA) 20 ditujukan untuk perlindungan dari 3-phase saluran udara transmisi listrik AC dari 24 kV tegangan operasi maksimum dengan terbuka dan ditutupi konduktor terhadap petir induksi lebih tegangan dan konsekuensinya dan dirancang untuk beroperasi di luar ruangan pada suhu kamar mulai dari suhu minus 60°C untuk positifnya 50°C[2]. Berikut ini merupakan gambar Arrester Multi Chamber (MCA).



Gambar 3. Sistem kerja pada Arrester Multi Chamber (MCA): (a) Gambar yang menunjukkan debit instan onset. (b) Diagram yang menunjukkan instan debit akhir.

F. Kinerja Arrester Multi Chamber (MCA)

Kinerja dari pada Arrester Multi Chamber ini terdiri atas spesifikasi berupa tingkatan tegangannya, tipe arrester, kehandalan dalam menahan tegangannya, impuls yang dapat ditangkap ioleh arrester, massa arrester, dan jangka hidup arrester serta waktu pemeliharaan arrester[8] dapat ditampilkan pada Tabel III berikut ini :

TABEL III  
KINERJA ARRESTER MULTI CHAMBER (MCA)

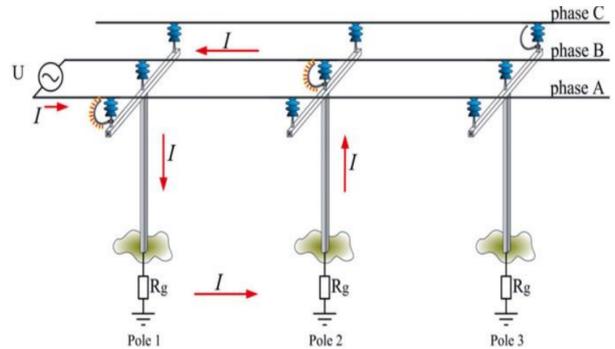
Tingkatan tegangan (kV)	10	10 - 20	20	35
Tipe Arrester - MCA	10-I*	10-DLS**	20-DLS	35-DLS
Jumlah ruang pada busur pendingin	20	40	120	300
Maksimal 50% , Impuls tegangan kedip ( flashover ) (kV) : Polaritas Positif (+) Polaritas Negatif (-)	70 70	85 85	90 85	150 120
Minimum menahan tegangan Frekuensi day (kV)				
Saat dalam keadaan kering	42	65	65	95
Saat dalam keadaan basah	28	50	50	75

Minimum besarnya impuls arus dalam 4/10 $\mu$ s , bertahan pada (kA) :				
- 2 aplikasi	100	100	100	100
- 5 aplikasi	65	65	65	65
Massa (Kg)	0.2	0.6	2	6
Minimal jangka waktu pemeliharaan Arrester (tahun)	30	30	30	30

G. Pemasangan Arrester Multi Chamber

Pemasangan Arrester Multi Chamber ini dilakukan karena, supaya menstabilkan tegangan arus listrik saat terjadi lonjakan sehingga mampu melindungi berbagai peralatan elektronik dari kerusakan akibat lonjakan teggangan surja petir (surge atau tegangan kejut)[2].

Tegangan surja petir ini dapat terjadi akibat adanya putus sambung dari sebuah tenaga listrik yang mempunyai daya yang besar dan akibat dari adanya sambaran petir. Tetapi Arrester Multi Chamber membuang listrik kembali ke udara dan sisanya ke tanah, ini dikarenakan pentanahan di daerah Pecatu sangatlah tinggi melebihi 10 ohm. Pada penyulang Pecatu dipasanglah Arrester Multi Chamber sebanyak 50 buah arrester pada tiap gawang[2].



Gambar 4. Struktur Pemasangan Arrester Multi Chamber

Arrester yang terpasang merupakan Arrester induksi tegangan tinggi. Pemasangan pada arrester ini dimaksudkan menjadi salah satu bagian dalam satu kutub, pada fasa alternatif. Konfigurasi Arrester Multi Chamber ini terutama dimaksudkan untuk bekerja pada tiga pasang sambungan dengan saluran untuk arus dibentuk sebagai kesalan pada pembumian ganda atau hubungan arus singkat (short circuit) yang melalui tanah (grounding). Berkat pemasangan dan konfigurasi tersebut, maka tingkat kesalahan sangat berkurang, memungkinkan perangkat yang lebih kecil untuk digunakan[2].

H. Proses Discharge pada Arrester Multi Chamber

Arrester terdiri atas sejumlah besar elektroda dipasang pada rubber sillicone. Lubang antara elektroda dan akan melalui bagian dari lubang-lubang yang panjang yang berfungsi sebagai ruang miniatur pelepasan impuls arus petir.terdapat



beberapa tahap-tahap dari proses saat sambaran petir datang menuju Arrester sampai dibuang ke udara[8]. Berikut merupakan prosesnya :

- 1) Pertama gelombang impuls petir datang menuju perangkat pelindung jaringan terhadap petir , lalu *gaps* atau lubang celah yang berada diantara elektroda yang bersifat konduktif atau penghantar yang baik itu memecah , sehingga memberikan bagian yang terionisasi di dalam saluran peluahan (*discharge channel*) , untuk menggagalkan proses pembentukan arus petir di dalam ruang (*chambers*) tersebut[8].
- 2) Kedua , Pada saluran peluahan ( *discharge channel* ) itu mengembang dengan meningkatkan nilai arus , yang membuat tekanan tinggi di dalam suatu ruang (*chambers*) , serta busur listrik yang membentuk bunga api itu terjadi di antara sekat-sekat elektroda di dalam ruang dengan volume yang rendah , maka percikan api pada elektroda berpindah menuju ke permukaan *body* isolasi karean mengalami tekanan yang sangat tinggi[8].
- 3) Yang ketiga , pada saat menuju ke permukaan isolasi maka arus yang berbentuk percikan tersebut dibuang lebih jauh disekitar perangkat pelindung jaringan dan tidak mengenai jaringan juga. Di dalam pengaruh proses *blowing* dan pemanjangan pada saluran diantara elektroda , pendingin intensive langsung mengambil alih dengan meningkatkan resistivitas listrik. Total dari penghambatan pada perangkat tersebut meningkat, mengaktifkan pendinginan dari arus gangguan sebelum bagian pertama melalui nol. Pada proses tersebut secara kondisional disebut *zero quenching*.

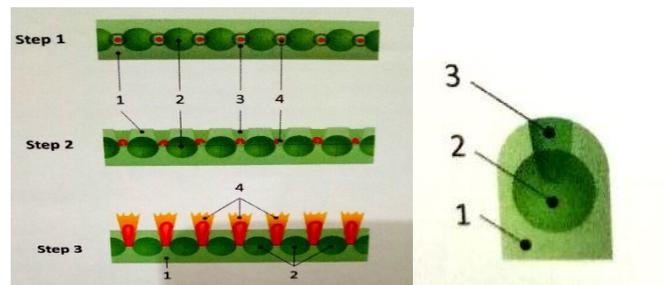
#### A. Bagian-Bagian dari Arrester Multi Chamber

Berikut ini terdapat bagian-bagian pada Arrester Multi Chamber [8], berikut adalah keterangannya :

- 1) *Silicone rubber enclosure* merupakan bagian permu 5 atau tubuh isolasi pada arrester multi chamber : terbuat dari karet silikon.
- 2) *Intermediate electrodes* merupakan bagian tengah elektrode yang berfungsi membuat busur listrik dalam elektroda tersebut [8].
- 3) *Arc Quenching Chamber* berfungsi sebagai Pendingin busur api yang berada pada ruang-ruang tempat *discharge*[8].
- 4) *Discharge channel* merupakan bagian saluran tempat peluahan atau *discharge* untuk tempat blow out percikan busur api lalu terjadi pemanjangan pada saluran ini[8].

*Multi Chamber System*(MCS), yang digunakan dalam MCA20 (*Arrester Multi Chamber*) mencakup sejumlah besar elektroda dipasang secara seri pada bentuk karet silikon (Satu elektroda dengan ruang *discharge*).Sistem ini membantu untuk membagi listrik yang besar (busur api yang terjadi dalam kasus tegangan lebih petir) di sejumlah besar busur kecil.yang ada di ruang debit peluahan atau *discharge* yang cukup kecil yang dibentuk oleh dua elektroda yang berdekatan. Tekanan tinggi muncul di ruang *discharge* (dengan kombinasi suhu yang sangat tinggi dari busur dan kecil ukuran ruang) menekan busur api keluar ke udara luar dan dengan demikian akan memadamkan busur api (dalam

waktu maksimum 10msec)[8]. Berikut ini merupakan gambar mengenai bagian-bagian pada *Arrester Multi Chamber* :

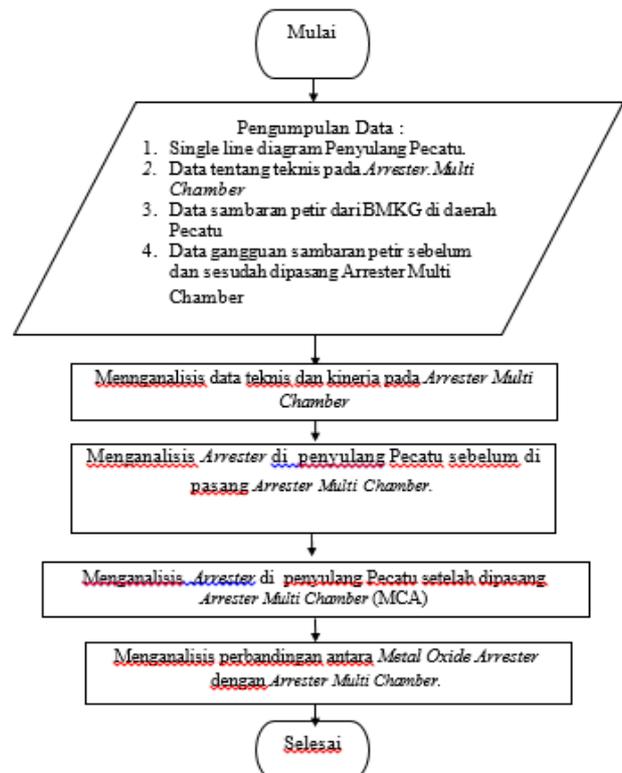


Gambar 5. Proses discharge pada Arrester Multi Chamber

### III. METODE PENELITIAN

Penelitian ini bertempat di PT. PLN (Persero) Distribusi Bali Area Bali Selatan dengan tujuan memperoleh data-data penunjang untuk penelitian dan waktu pelaksanaannya dimulai pada bulan Juli 2016 sampai dengan November 2016. Penelitian tugas akhir ini menggunakan data sekunder, yang didapat dari PT. PLN (Persero) Area Jaringan Bali Selatan , dimana data-data tersebut antara lain :

1. Single line diagram Penyulang Pecatu.
2. Data Teknis pemasangan *Arrester Multi Chamber* di Penyulang Pecatu.
3. Data gangguan (trip) karena sambaran petir di penyulang Pecatu.
4. Data jenis pada *Arrester Multi Chamber* di penyulang Pecatu.



Gambar 6. Alur Analisis

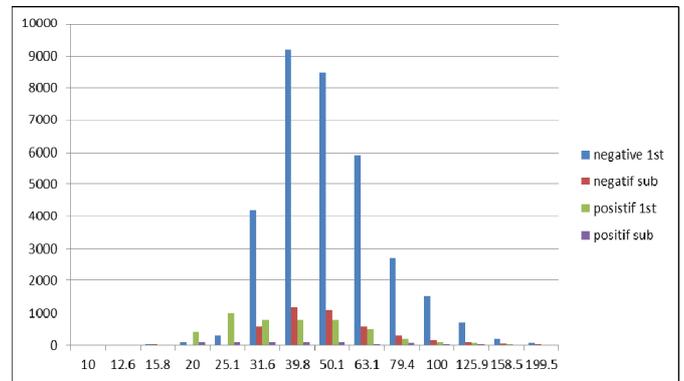
## BAB IV HASIL DAN ANALISIS

### A. Sistem Distribusi Penyulang Pecatu

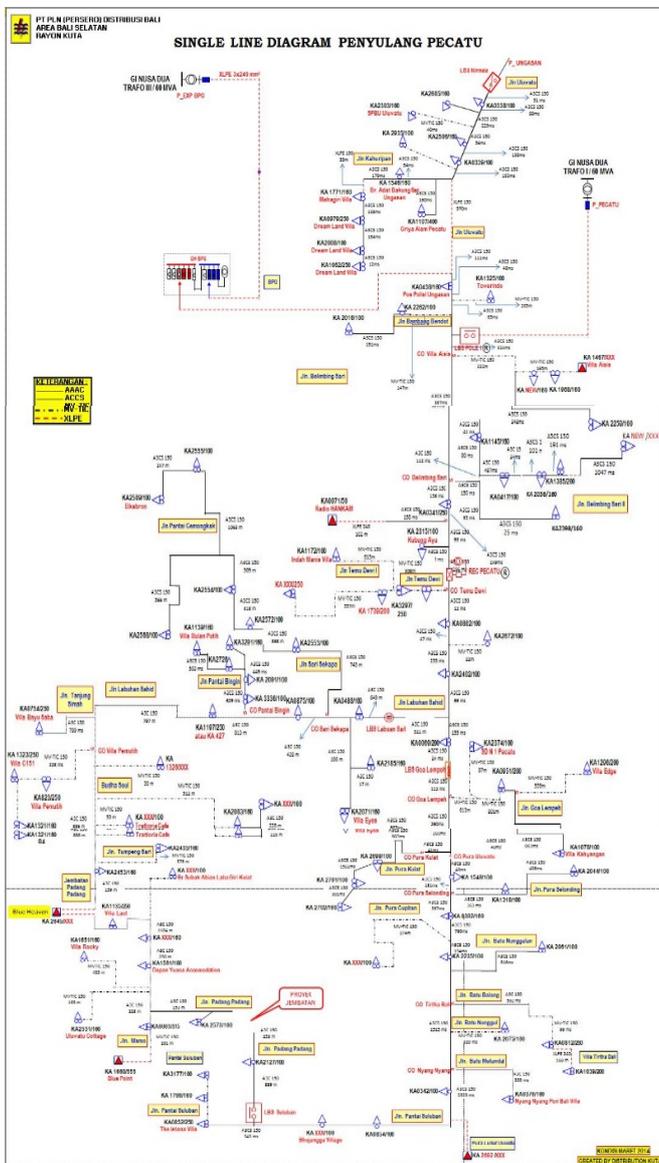
Penyulang Pecatu adalah penyulang yang mendapat suplai tenaga listrik dari GI Nusa DuaTrafo III / 60 MVA yang terletak di wilayah Kuta Selatan. Wilayah operasi yang dilayani adalah daerah Pecatu, Labuan Sait, Suluban, Padang-padang, Goa Lempeh, dan Uluwatu. Penyulang Pecatu merupakan penyulang yang memiliki konfigurasi sistem distribusi tipe radial, dengan panjang saluran 31 kms. Selain itu, penyulang ini memiliki trafo distribusi sebanyak 105 buah. Pada daerah Pecatu memiliki proteksi sambaran yang besar, jumlah sambaran maksimum perbulan mencapai lebih dari 6000 sambaran ke tanah Pada tahun 2016 memiliki aktivitas petir yang tinggi dengan gangguan pada penyulang Pecatu sebanyak 7 kali. Berikut data dari PLN Rayon Kuta diperoleh data gangguan petir yang terjadi di wilayah daerah Pecatu periode tahun 2016 dengan Jumlah tiang di penyulang Pecatu adalah 248, dan yang di ketanahkan 50 tiang setiap 4 gawang yang di ketanahkan. Setiap gawang pun dipasang jarak sejauh 200m dengan dipasang dengan bentuk diagonal. Pada gambar dibawah ini merupakan Single Line Diagram pada penyulang Pecatu :

B. Gelombang Arus Sambaran Petir di daerah Pecatu

Gelombang arus petir yang menyambar di daerah Bali Selatan berikut ini dianalisis dengan mencari nilai statistik arus puncak petir, karena berguna untuk penentuan konstruksi terminal udara dan spesifikasi arrester. Berikut gambarnya dibawah ini :



Gambar 8 Grafik Sambaran Petir di daerah Pecatu



Gambar 7. Single Line Diagram di Penyulang Pecatu

Keterangan :

- Negative First : Sambaran Petir pertama negatif ( merah)
- Negative subsequent : sambaran petir susulan negatif (ungu)
- Positive First : sambaran petir pertama positif ( kuning)
- Postive subsequent : Sambaran petir susulan positif ( putih )

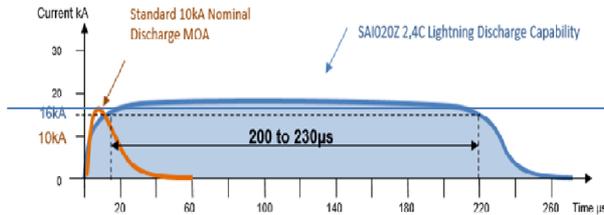
Pada grafik di atas merupakan statistik dari nilai arus puncak pada petir. Sistem proteksi petir pada saluran distribusi. Probabilitas arus puncak adalah presentase yang menunjukkan kejadian sambaran petir dengan arus puncak lebih besar dari nilai tertentu. Misal, untuk arus  $x$  kA, probabilitasnya  $y\%$ . Maksudnya,  $y\%$  lebih besar dari  $x$  kA. Untuk sistem proteksi saluran udara distribusi tenaga listrik, angka probabilitas yang digunakan yaitu 50%. Pulau Bali mempunyai aktivitas kejadian petir 50% pada harga sekitar 45 kA. Angka arus puncak petir tersebut digunakan secara praktis sebagai dasar perancang sistem proteksi petir di Bali. Pada diagram statistik diatas angka tegangan impuls petir pada daerah tersebut tertinggi adalah 90kV dengan arus petir sebesar 39,8 kA.

C. Perbandingan Antara Metal Oxide Arrester dengan Arrester Multi Chamber

1. Perbandingan Dalam Proses Discharge

Berikut ini merupakan suatu gambar diagram yang menunjukkan perbandingan nilai efisien dan ekonomis antara Lightning Arrester yang biasa disebut juga MOA (Metal Oxide Arrester) dengan MCA yang ada pada gambar 9. berikut ini:





Gambar 9. Diagram Perbandingan Antara Lightning Arrester dengan Arrester Multi Chamber

Dari gambar 9. menunjukkan perbandingan antarakedua *arrester* tersebut mengenai prinsip kerjanya untuk menangkal arus pada tegangan petir supaya tidak terjadi *trip* pada saluran distribusi 20 kV, Arus petir yang datang menuju saluran distribusi ,ditangkap oleh bagian *chamber*nya dengan maksimum dapat menangkap surja petir sebesar 90 kV . Pada grafik tersebut dijelaskan bahwa arus petir dipotong atau mengalami (discharge) dan arus yang masuk adalah sebesar 16 kA ,dan dapat mendischarge arus sambaran selama 200 - 230 µs. Setelah ditunjukkan grafik hasil dari tes impuls petir maka didapatkan juga lonjakan gelombang petir dikarenakan lebih dari tegangan kerja 90 kV. Jadi pada gambar 9. didapatkan analisis perhitungannya adalah dengan menggunakan rumus yang sama, dapat dihitung kenaikan tegangan pada saluran distribusi saat mengalami surja petir dengan kecepatan gelombang surja 4/10 µs, waktu sampai ke puncak untuk test impuls 4/10 µs adalah sekitar 200- 230 µs, , serta besar arus surja ( $I_p$ ) 16kA dan untuk test impuls adalah sebagai berikut :

a. Untuk arus surja 16 kA

$$V_{up\ max} = L \frac{di}{dt}$$

Dimana :

$V_{upmax}$  = Besar kenaikan tegangan pada saluran distribusi (kV)

$L \frac{di}{dt}$  = Besar kenaikan tegangan pada kawat *arrester* (kV)

$I_p$  = Puncak arus surja (kA)

$t_p$  = Waktu sampai mencapai arus puncak surja (µ detik)

$L$  = Induktansi pada kawat *arrester* ( 0,4µH/ft )

$e$  = Konstanta eksponensial (2,718)

Jadi hasil yang didapat adalah :<sup>[5]</sup>

$$V_{up\ max} = L \frac{di}{dt} = 0,4 \cdot 2,718 \frac{16}{200}$$

$$= 0,075773491\ kV/ft = 0,248600692\ kV/m, \text{ dimana } 1\ ft = 0,3048\ m$$

Jika pemasangan *arrester* Chamber sebanyak 4 gawang ( 1 gawang = 50 m)maka kenaikan tegangan pada saluran distribusi adalah :

$$V_{up\ max} = 0,248600692 \times 200\ m = 4,61915195\ kV$$

## 2. Pemilihan *Arrester* Multi Chamber Sebagai Pelindung Petir

### 1. Tegangan pengenalan *arrester*(*rating arrester*)

Tegangan pengenalan *arrester* merupakan tegangan rms fasa ke fasa tertinggi dikalikan dengan koefisien pembumian. Dalam hal ini dikategorikan pembumian langsung maka[13]:

- Tegangan sistem maksimum  
 $= V_{nominal} + 10\% \text{ (faktor toleransi)}$   
 $= 20\ kV + (20 \times 10\%)$   
 $= (20 + 2)\ kV$   
 $= 22\ kV$
- Tegangan pengenalan *arrester*  
 $= 22\ kV / \sqrt{3} \text{ (3fasa)} = 13\ kV$

### b. Menentukan tegangan terminal *arrester*

*Arrester* yang digunakan mempunyai tegangan pengenalan 24 kV dengan kecuraman surja (dv/dt) adalah 200 kV / µ detik.

Jadi kecepatan naiknya tegangan surja adalah :

$$= \frac{200\ kV / \mu\ det\ ik}{24\ kV} = 8,33\ kV / \mu\ detik$$

Dari karakteristik, didapat tegangan sela gagal = 3,6 kV/µ detik tiap kV rating maka :

Tegangan terminal *arrester* = tegangan sela gagal x tegangan pengenalan

$$V = 3,6 \times 24 = 86,4\ kV$$

### 2. Menentukan tegangan percikan impuls maksimum

Untuk menentukan besar tegangan percikan impuls maksimum dengan tegangan pengenalan *arrester* 24 kV, maka dengan menggunakan tabel karakteristik *arrester* diperoleh tegangan percikan impuls maksimum sebesar 87 kV.

### 3. Menentukan Tegangan Kerja *Arrester*

Untuk menentukan tegangan kerja *arrester* digunakan tabel ini diperoleh tegangan kerja *arrester* sebesar 87 kV. Dari hasil itu di peroleh *arrester* maksimum mampu memotong tegangan surja sebesar 87 kV.

### 4. Menentukan Faktor Perlindungan

Sebelum menentukan faktor perlindungan, terlebih dahulu harus menentukan tingkat perlindungan (TP) yang diberikan *arrester* terhadap peralatan yang dilindungi. Tingkat perlindungan dapat ditentukan menggunakan rumus sebagai berikut :

$$TP = V_a + 10\% V_a$$

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

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

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

$$TP = 95,7\ kV$$

Keterangan : TP = Tegangan Pengenal

Kemudian faktor perlindungan dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut ;

$$FP = \frac{TID_{trafo-TP}}{TID_{trafo}} \times 100\%$$

Dari rumus diatas, dapat dihitung faktor perlindungan dari peralatan dengan TID yaitu 125 kV, yaitu:

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

Dari perhitungan tersebut, faktor perlindungan yang diperoleh adalah 23,44% dari 20% dari BIL peralatan pada umumnya, sehingga pemilihan *arrester* sudah dapat memberikan faktor perlindungan yang baik.

**G. Perhitungan Kenaikan Tegangan pada Saluran Distribusi Akibat Surja Petir dengan Kecepatan Gelombang Surja 4/10 μs dan 8/20 μs**

Sebelum menghitung kenaikan tegangan saluran distribusi pada penyulang Pecatu akibat surja petir, maka perlu diketahui terlebih dahulu kecepatan gelombang surja serta besar arus surja yang terjadi di penyulang Pecatu, Bali Selatan.

Dengan menggunakan rumus yang sama, dapat dihitung kenaikan tegangan pada saluran distribusi saat mengalami surja petir dengan kecepatan gelombang arus surja 65 kA 4/10 μs, serta besar arus surja ( $I_p$ ) 20 kA untuk test impuls 8/20 μs sebagai berikut :

a. Untuk arus surja 65 kA

$$V_{upmax} = L \frac{di}{dt} = 0,4 \cdot 2,718 \frac{65}{10}$$

$$= 7,0668 \text{ kV/ft}$$

$$= 20,73591549 \text{ kV/m, dimana } 1 \text{ ft} = 0,3048 \text{ m}$$

Jika jarak pemasangan *arrester* distribusi sepanjang, maka kenaikan tegangan pada trafo distribusi adalah :

$$= 20,73591549 \times 200 \text{ m}$$

$$= 4.147,1831 \text{ kV}$$

Jika jarak pemasangan *arrester* Chamber maka kenaikan tegangan pada saluran distribusi adalah :

b. Untuk arus surja 20 kA dengan tes impuls 8/20  $V_{upmax} = L$

$$\frac{di}{dt} = 0,4 \cdot 2,718 \frac{20}{20}$$

$$= 1,0872 \text{ kV/ft}$$

$$= 3,566929134 \text{ kV/m, dimana } 1 \text{ ft} = 0,3048 \text{ m}$$

Jika jarak pemasangan *arrester* distribusi sepanjang, maka tegangan kerja pada saluran distribusi adalah :

$$= 3,566929134 \times 200 \text{ m}$$

$$= 713,385827 \text{ kV}$$

**H. Pemilihan Metal Oxide Arrester Sebagai Pelindung Petir**

**1. Tegangan pengenalan Arrester pada Metal Oxide Arrester (rating arrester)**

- Tegangan sistem maksimum
  - =  $V_{nominal} \times 10\%$  (faktor toleransi)
  - =  $20 \text{ kV} \times 1,1$
  - =  $22 \text{ kV}$
- Tegangan pengenalan arrester
  - =  $24 \text{ kV} / \sqrt{3}$  (3fasa) =  $13 \text{ kV}$

I Gede Gerry Julius Perdana : Pemasangan Arrester Multi ...

**2. Menentukan tegangan terminal arrester**

*Arrester* yang digunakan mempunyai tegangan pengenalan 24 kV dengan kecuraman surja (dv/dt) dari tabel 2.2 adalah 200 kV / μ detik.

Jadi kecepatan naiknya tegangan surja adalah :

$$= \frac{200 \text{ kV} / \mu \text{ det } ik}{24 \text{ kV}}$$

$$= 8,33 \text{ kV} / \mu \text{ detik}$$

Dari karakteristik, didapat tegangan sela gagal = 3,6 kV/μ detik/kV rating maka :

Tegangan terminal *arrester* = tegangan sela gagal x tegangan pengenalan

$$V = 3,6 \times 24 = 86,4 \text{ K}$$

TABEL IV  
PERHITUNGAN TEGANGAN TERMINAL LIGHTNING ARRESTER

No	Teg. Kerja Arrester	Kecuraman (kV/μs)	Teg. Sela Gagal (kV)	Kec. Naik teg. Surja (kV/μs)	Teg. Terminal LA
1	18	150	3,6	8,3333333	64,8
2	21	175	3,6	8,3333333	75,6
3	24	200	3,6	8,3333333	86,4

**3. Menentukan tegangan percikan impuls maksimum**

Untuk menentukan besar tegangan percikan impuls maksimum dengan tegangan pengenalan *arrester* 24 kV, maka dengan tabel di bawah ini pada *arrester* diperoleh tegangan percikan impuls maksimum sebesar 100 kV.

TABEL V  
TEGANGAN MAKSIMUM SPARKING IMPULS

No	Tegangan Pengenal LA	Tegangan Impuls max
1	18	75
2	21	88
3	24	100

**4. Menentukan Tegangan Kerja Arrester**

Untuk menentukan tegangan kerja *arrester* dari tabel di bawah ini diperoleh tegangan kerja *arrester* sebesar 87 kV.

TABEL VI  
TEGANGAN KERJA PADA LIGHTNING ARRESTER ( METAL OXIDE ARRESTER )

No	Tegangan Pengenal LA	Tegangan Kerja LA
1	18	65
2	21	76
3	24	87



Dari hasil perhitungan kerja *arrester*, rating *arrester* 24kV mempunyai tegangan puncak maksimum sebesar 175 kV dan dari hasil itu di peroleh *arrester* sudah mulai bekerja pada saat tegangan impuls petir pada saat mencapai tegangan 87 kV kemudian *arrester* sudah memulai memotong tegangan impuls petir tersebut pada saat mencapai tegangan 87 kV.

### 5. Menentukan Arus Pelepasan *Arrester*

#### a. Menentukan Tegangan Puncak Surja

Tegangan lompatan api impuls (TID saluran) yang diambil adalah 125 kV[13], maka :

$$V_{\text{puncak}} = 1,2 \times \text{TID (tingkat isolasi impuls dasar) saluran} \\ = 1,2 \times 125 \text{ kV} \\ = 150 \text{ kV}$$

#### b. Menentukan Arus Pelepasan *Arrester*

Arus pelepasan *arrester* digunakan untuk menentukan kelas *arrester*. Arus pelepasan nominal *arrester* yang diperoleh adalah :

$$I_a = \frac{2V_{\text{puncak}} - V_{\alpha}}{Z_s} = \frac{2 \times 150 - 86,4}{448,987} = 0,475$$

kA

Dari hasil ini, untuk daerah yang mempunyai frekuensi sambaran petir yang tinggi dan kemungkinan arus surja dengan puncak yang tinggi maka kelas arus *arrester* 10kA, 5 kA tidak relevan digunakan. Karena apabila terkena sambaran petir yang kuat dan terus menerus, *arrester* yang lebih kecil kemungkinan akan mengalami kegagalan sehingga tidak dapat melindungi saluran

TABEL VII  
 ARUS PELEPASAN LIGHTNING ARRESTER

No	Teg. Kerja Arrester	Teg. Terminal LA (kV)	Teg. Puncak Surja (kV)	Arus Pelepasan (A)	Kelas LA (kA)
1	18	64,8	150	523,8459	5
2	21	75,6	150	499,79175	5
3	24	86,4	150	475,75562	5

#### c. Menentukan Faktor Perlindungan

Dalam menentukan faktor perlindungan, maka yang pertama-tama dihitung adalah tingkat perlindungan *arrester* yaitu:

TABEL VIII  
 FAKTOR PERLINDUNGAN ARRESTER

Berikut ini adalah tabel mengenai faktor perlindungan *Arrester* pada sistem distribusi di Penyulang Pecatu

No	Teg. Kerja Arrester	Sparking Voltage (kV)	Tingkat Lindung LA (kV)	Faktor Lindung (%)
1	18	65	71,5	79
2	21	76	83,6	75,41
3	24	87	95,7	71,9

$$\text{Tingkat perlindungan} = V_a \times 10\%$$

$$= V_a \times 1,1$$

$$= 87 \text{ (Sparking Voltage (kV))} \times 1,1 = 95,7 \text{ kV}$$

Jadi diperoleh faktor perlindungannya adalah [13] :

$$\text{FP} = \frac{\text{TID}_{\text{saluran}} - TP}{\text{TID}_{\text{saluran}}} \\ = \frac{340 - 95,7}{340} = 71,9\%$$

### V. KESIMPULAN

Dengan penempatan *arrester* sekitar berjarak 200 m di setiap 4 gawang, diperoleh kenaikan tegangan saat mengalami surja petir dengan kecepatan gelombang 4/10 μs, dengan waktu sampai ke puncak 10 μs, dimana dengan arus surja 65 kA yaitu 4.147,1831 kV, sedangkan untuk arus surja 20 kA dengan penempatan *arrester* pada tiap gawang saluran distribusi, kecepatan gelombang dan waktu sampai ke puncak yang sama didapatkan kenaikan tegangan yaitu 713,385827 kV.

### REFERENSI

- [1] Erlangga Perdana, 2012. Buku Panduan Praktis Sistem Proteksi Petir Saluran Distribusi Tenaga Listrik. Bali : PT. PLN (Persero)
- [2] Erlangga Perdana; Syarif Hidayat; Reynaldo Zoro, 2014. *Lightning Protection System On Overhead Distribution Line Using Multi Chamber Arrester*. Power Engineering and Renewable Energy (ICPERE), 2014 International Conference.
- [3] Effendy Sinaga, 2016. *Multi Chamber Arrester 20, For Overhead lines Up to 24 kV*. Jakarta : PT. Preformed Line Products Indonesia.
- [4] G. V. Podporokin, 2009. *Lightning Protection Of Overhead Lines Rated At 3–35 Kv And Above With The Help Of Multi-Chamber Arresters And Insulator-Arresters*. 28 th International Conference on Lightning Protection (ICLP 2006),
- [5] Hutahuruk, T.S. 1988. *Perhitungan Gangguan Kilat pada Saluran Udara Tegangan Menengah*. Bandung : Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknologi Industri. Institut Teknologi Bandung.
- [6] Hutahuruk, T.S. 1989. *Gelombang Berjalan dan Proteksi Surja*. Jakarta : Erlangga.
- [7] Hutahuruk, T.S. 1991. *Pentanahan Netral Sistem Tenaga dan Pentanahan Peralatan*. Jakarta : Erlangga.
- [8] Mathieu Zinck, 2016. *Application Guide for Streamer's Easy Quench Technology for Overhead Lines Up to 24kV*. Russia : Streamer AG.
- [9] R. Zoro, 2012. *Studi dan Evaluasi Peta Petir Serta Peningkatan Sistem Proteksi Petir pada Jaringan Distribusi 20 kV PT PLN (Persero) Distribusi Bali Area Bali Selatan*, Bandung Institute of Technology, Bandung 2013.
- [10] R.Zoro ;Tulus Leo, 2015. *Multi-Chamber Arrester Study At Tropical Area For 20 Kv Lines Lightning Protection System*. Bandung Institute of Technology, Bandung 2015
- [11] Rusmana, 2013. " Studi Pengaruh Pemasangan Kawat Tanah dan *Arrester* Untuk Melindungi Saluran Distribusi Tegangan Menengah Akibat Surja Petir". Bali : Teknik Elektro Universitas Udayana 2013.
- [12] [NN. 1978. *SPLN 7C : Lightning Arrester Part 1 Non Linear Resistor Type Arrester For AC System*. Jakarta : Departemen Pertambangan dan Energi Perusahaan Umum Listrik Negara.

[ halaman ini sengaja di kosongkan]

