



## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1 Surja Petir<sup>2</sup>

Petir merupakan kejadian alam yang disebabkan oleh terjadinya loncatan muatan listrik antara awan dengan bumi. Petir menimbulkan adanya rambatan gelombang dengan amplitudo transien arus dan tegangan tinggi. Tegangan dan arus lebih yang ditimbulkan oleh petir selain dapat mengancam keselamatan jiwa manusia, juga dapat mengganggu peralatan dan sistem tenaga listrik. Gangguan akibat petir dapat timbul dari sambaran petir langsung (*direct strike*) dan tidak langsung (*indirect strike*). Oleh karena itu diperlukan suatu sistem proteksi yang mengamankan saluran transmisi, peralatan, atau manusia dari gangguan dan sambaran petir. Sambaran petir yang merusak isolator terdiri dari dari 2 sumber, yang pertama yakni sambaran langsung ke kawat tanah atau menara. Arus petir akan mengalir ketanah melalui menara dan kembali keatas dengan tegangan yang tinggi dan menyebabkan rusak dan pecahnya isolator, fenomena ini disebut *Back Flashover* (BSF). Yang kedua yakni sambaran langsung ke kawat Fasa, arus petir akan mengalir sepanjang kawat fasa sebagai gelombang berjalan ke isolator dan merusak isolator, ini disebut *Shielding Failures* (SF).

##### 2.1.1 Cara masuknya petir ke peralatan

Mengingat bahaya yang terjadi maka kita perlu mempelajari bagaimana petir tersebut masuk keperalatan sistem tenaga listrik. Dengan demikian kita dapat menentukan peralatan pengamannya, peralatan pengaman ini diperlukan mengingat tegangan yang timbul oleh Petir dapat melebihi kekuatan isolasi peralatan yang akan menyebabkan terjadinya *flash over* (lompatan bunga api) atau isolasi mengalami kerusakan.

---

<sup>2</sup> Ahmad Aditya, 2020, "Analisa Efisiensi Jarak Pemasangan Lightning Arrester Pada Transformator Daya 67 MVA Di PT.MEDCO Geothermal Sarulla. Hal 10.

### 1. Sambaran langsung

Sambaran langsung adalah sambaran yang langsung menyambar gedung atau objek yang diproteksi, misalnya: sambaran pada hantaran udara tegangan rendah, atau sambaran pada pipa metal, kabel dll. Pada jenis sambaran ini instalasi proteksi tegangan lebih akan dialiri oleh seluruh atau sebagian arus petir.

### 2. Sambaran tidak langsung

Bila terjadi sambaran Petir ke tanah didekat saluran maka akan terjadi gejala transien pada kawat saluran. Gelombang tegangan Petir ini akan merambat sampai ke gardu induk. Pada tempat yang terkena sambaran Petir gelombangnya berekor dan bermuka curam. Selama gelombang ini berjalan melalui saluran transmisi bentuknya berubah, mukanya terjadi kurang curam dan ekornya bertambah panjang, sedangkan amplitudonya berkurang karena efek kulit dari saluran.

#### 2.1.2 Perlindungan pusat listrik terhadap petir

Pusat listrik umumnya dihubungkan dengan saluran udara transmisi yang menyalurkan tenaga listrik ke pusat-pusat konsumsi tenaga listrik, yaitu gardu induk (GI).

Saluran udara rawan terhadap sambaran petir yang menghasilkan gelombang berjalan (surja tegangan) yang dapat masuk ke pusat listrik. Oleh karena itu, dalam pusat listrik harus ada *Lightning Arrester* (penangkal petir) yang berfungsi menangkal gelombang berjalan dari petir yang akan masuk ke instalasi pusat listrik.

Saluran udara yang keluar dari pusat listrik merupakan bagian instalasi pusat listrik yang paling rawan sambaran petir dan karenanya harus diberi *lightning arrester*. Selain itu, *lightning arrester* harus berada di depan setiap transformator dan harus terletak sedekat mungkin dengan transformator. Hal ini perlu karena surja petir yang

merupakan gelombang berjalan menuju transformator akan melihat transformator sebagai suatu ujung terbuka (karena transformator mempunyai isolasi terhadap bumi/tanah) sehingga gelombang pantulannya akan saling memperkuat dengan gelombang yang datang. Untuk mencegah terjadinya hal ini, *Lightning Arrester* harus dipasang sedekat mungkin dengan transformator.

*Lightning Arrester* akan bekerja pada tegangan tertentu di atas tegangan operasi untuk membuang muatan listrik dari surja petir dan akan berhenti beroperasi pada tegangan tertentu di atas tegangan operasi agar tidak terjadi arus ikutan pada tegangan operasi. Perbandingan dua tegangan ini disebut rasio operasi arrester.

Tingkat isolasi dasar arrester harus berada di bawah tingkat isolasi transformator agar apabila sampai terjadi flashover, maka flashover diharapkan terjadi pada arrester dan tidak pada transformator. Transformator adalah bagian pusat listrik yang paling mahal dan rawan terhadap sambaran petir. Selain itu, apabila terjadi kerusakan transformator, maka daya dari pusat listrik tidak dapat sepenuhnya disalurkan.

## 2.2 Isolator<sup>3</sup>

### 2.2.1 Pengertian isolator

Isolator berperan penting untuk pengaman. Baik pengaman peralatan ataupun pengaman terhadap manusia. Isolator berfungsi untuk memisah konduktor. Isolator merupakan bagian yang penting dalam suatu sistem transmisi energi listrik. Berikut adalah persyaratan penting suatu isolator yang harus dimiliki:

---

<sup>3</sup> An Nissa, 2020, " PERHITUNGAN PERSENTASE ARUS BOCOR LIGHTNING ARRESTER PADA BAY TRAFU 1 DI GARDU INDUK CIKUPA 150 KV", Hal 7.

- a. Isolator harus mempunyai kekuatan dielektrik yang tinggi.
- b. Isolator harus mempunyai kekuatan mekanik yang tinggi.
- c. Tidak dipengaruhi oleh perubahan suhu.
- d. Nilai resistivitas harus tinggi untuk memperkecil terjadinya arus bocor.
- e. Harus tahan terhadap masuknya cairan-cairan atau gas-gas ke dalam bahan isolator dan tidak mudah keropos.

### 2.2.2 Bahan-bahan isolator

#### 1. Isolator Porselen

Isolator porselen dibuat dari bahan campuran tanah porselen, kwarts, dan veld spaat, yang bagian luarnya dilapisi dengan bahan glazuur agar bahan isolator tersebut tidak berpori-pori. Dengan lapisan glazuur ini permukaan isolator menjadi licin dan berkilat, sehingga tidak dapat mengisap air. Oleh sebab itu isolator porselen ini dapat dipakai dalam ruangan yang lembab maupun di udara terbuka. Isolator porselen memiliki sifat tidak menghantar (*non conducting*) listrik yang tinggi, dan memiliki kekuatan mekanis yang besar. Ia dapat menahan beban yang menekan serta tahan akan perubahan-perubahan suhu. Akan tetapi isolator porselen ini tidak tahan akan kekuatan yang menumbuk atau memukul. Ukuran isolator porselen ini tidak dapat dibuat lebih besar, karena pada saat pembuatannya terjadi penyusutan bahan. Walaupun ada yang berukuran lebih besar namun tidak seluruhnya dari bahan porselen, akan tetapi dibuat rongga di dalamnya, yang kemudian akan di isi dengan bahan besi atau baja tempaan sehingga kekuatan isolator porselen bertambah. Cara yang demikian ini akan menghemat bahan yang digunakan.



**Gambar 2.1.** Isolator Porselen

(Sumber: [indonesian.alibaba.com](http://indonesian.alibaba.com))

## 2. Isolator Polimer

Isolator polimer adalah isolator yang terbuat dari susunan beberapa monomer membentuk suatu isolator sesuai dengan peruntukannya. Isolator *polimer silicone rubber* memiliki sifat menolak air (*hydrophobicity*), bahkan mampu memulihkan dan memindahkan sifat hidrofobiknya ke lapisan polusi menyebabkan lapisan polusi ikut bersifat hidrofobik. Sifat hidrofobik sangat bermanfaat bagi isolator listrik pasang luar karena dalam kondisi basah, hujan atau lembab tidak akan memberi peluang terbentuknya lapisan air yang kontinyu sehingga pada permukaan isolator konduktivitasnya akan tetap rendah.



**Gambar 2.2.** Isolator Polimer

(Sumber: Buku Pedoman Pemeliharaan *Lightning Arrester*)

KEPDIR 0520-2.K/DIR/2014 PT PLN (PERSERO))

### 3. Isolator Gelas/Kaca

Isolator gelas pada umumnya terbuat dari bahan campuran antara pasir silikat, dolomit, dan phospat. Komposisi dari bahan-bahan tersebut dan cara pengolahannya dapat menentukan sifat dari isolator gelas ini. Isolator gelas memiliki sifat mengkondensir (mengembun) kelembaban udara, sehingga lebih mudah debu melekat dipermukaan isolator tersebut. Makin tinggi tegangan sistem makin mudah pula terjadi peristiwa kebocoran arus listrik (*leakage current*) lewat isolator tersebut, yang berarti mengurangi fungsi isolasinya. Oleh karena itu isolator gelas ini lebih banyak dijumpai pemakaiannya pada jaringan distribusi sekunder.



**Gambar 2.3.** Isolator Gelas/Kaca

(Sumber: [indonesian.aluminiumalloyconductors.com](http://indonesian.aluminiumalloyconductors.com))

## 2.3 Lightning Arrester

### 2.3.1 Pengertian *arrester*<sup>4</sup>

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

<sup>4</sup> MUH TASBIR, 2020, "ANALISA PERALATAN LIGHTNING ARRESTER PADA GARDU INDUK BOLANGI 150 KV", Hal 13.



*Arrester* merupakan peralatan yang di desain untuk melindungi peralatan lain dari tegangan surja dan pengaruh *follow current*. Sebuah *arrester* harus mampu bertindak sebagai isolator, mengalirkan beberapa miliampere arus bocor ke tanah pada tegangan sistem dan berubah menjadi konduktor yang sangat baik, mengalirkan ribuan ampere arus surja ke tanah, memiliki tegangan yang lebih rendah dari pada tegangan withstand dari peralatan ketika terjadi tegangan lebih, dan menghilangkan arus susulan mengalir dari sistem melalui *arrester* (*power follow current*) setelah surja petir atau surja hubung berhasil didisipasikan.

*Lightning Arrester* memiliki peran penting di dalam koordinasi isolasi peralatan di gardu induk. Fungsi utama dari *lightning arrester* adalah melakukan pembatasan nilai tegangan pada peralatan gardu induk yang dilindunginya. Tujuan dari proteksi petir adalah untuk mengamankan peralatan dan instalasi dari sambaran langsung surja petir. Pada keadaan tegangan jaringan normal, tegangan nominal pelindung berperan sebagai isolasi atau idealnya tidak mengalirkan arus dari jaringan tanah. Tetapi jika suatu tegangan lebih impuls tiba pada terminal alat pelindung, maka alat pelindung segera berubah menjadi penghantar dan mengalirkan arus impuls ke tanah sehingga amplitude tegangan lebih yang merambat menuju peralatan yang dilindungi berkurang menjadi dibawah ketahanan tegangan impuls peralatan yang dilindungi.



**Gambar 2.4** *Lightning Arrester*

### 2.3.2 Prinsip kerja *arrester*

Suatu *arrester* dipasang untuk proteksi ketika terjadi surge petir atau surge hubung. Benda ini dipasang pada sistem tenaga listrik baik distribusi maupun pada gardu induk.

a. Saat Kondisi Normal

Dalam kondisi normal, *arrester* bekerja sebagai isolator sehingga aliran listrik dari jaringan lewat melalui FCO (*Fuse Cut Off*) dan diteruskan ke Transformator (Pada Gardu Distribusi).

b. Saat Kondisi Gangguan

Kondisi gangguan di sini adalah ketika terjadi sambaran petir atau gangguan lain yang menyebabkan lonjakan tegangan. Saat terjadi lonjakan tegangan tersebut maka *arrester* akan bekerja sebagai konduktor dengan nilai tahanan yang relatif rendah dari keadaan normal. Dengan tahanan rendah tersebut membuat arus gangguan yang dihasilkannya memilih untuk melalui *arrester* (bekerja sebagai konduktor) dan kemudian diteruskan ke tanah melalui sistem pentanahan. Ketika tegangan surge sudah hilang maka tahanan



*arrester* berubah menjadi tinggi sehingga membuatnya kembali menjadi isolator.

### 2.3.3 Karakteristik *arrester*

Berikut ini merupakan karakteristik dari *Lightning Arrester*:

1. Ketika *Arrester* berada pada tegangan operasi:
  - a. *Lightning arrester* bersifat sebagai isolator.
  - b. Tetap ada nilai arus bocor ke tanah, tetapi hanya dalam orde mili-ampere. Mayoritas dari arus bocor tersebut adalah arus kapasitif.
2. Ketika terjadi surja petir atau surja hubung:
  - a. *Lightning arrester* bersifat sebagai konduktor.
  - b. *Lightning arrester* mengalirkan arus dalam orde kilo-ampere ke tanah.
  - c. Setelah tegangan lebih berhasil dilewatkan, *Lightning arrester* kembali bersifat isolator.

### 2.3.4 Konstruksi *arrester*<sup>5</sup>

1. Varistor / Komponen Aktif

Komponen ini terdiri dari kolom varistor *Zinc Oxide (ZnO)*. *Zinc Oxide (ZnO)* ini dicetak dalam bentuk silinder yang memiliki diameter keping tergantung pada nilai discharge arus. Silinder tersebut terbuat dari material aluminium yang memiliki fungsi sebagai pendingin.

---

<sup>5</sup> Eka Rania Putri, 2020, "ANALISA PENGUJIAN LEAKAGE CURRENT MEASUREMENT (LCM) TAHUNAN PADA LIGHTNING ARRESTER BERUMUR TUA DI GARDU INDUK 70 KV SUNGAI KEDUKAN PALEMBANG", Hal 14-21.



**Gambar 2.5** Keping Blok Varistor Zinc Oxide

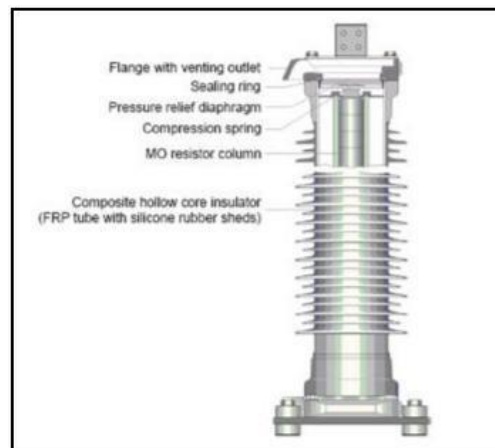
(sumber: <https://indonesian.alibaba.com/product-detail/LA-Zinc-Metal-Oxide-Varistor-disc-60774813392.html>)

Nilai residual voltage untuk setiap keping ZnO pada saat dilewati arus surja bergantung pada diameter keping tersebut. Sebagai contoh pada keping dengan diameter 32 mm, nilai residual voltasenya sebesar 450 V/mm, sementara untuk diameter 70 mm nilai residual voltage menurun menjadi 280 V/mm. Hal ini berarti, pada satu keping ZnO dengan diameter 70 mm dan tinggi 45 mm terdapat kemampuan residual voltage sebesar 12.5 kV. Bila nilai residual voltage yang diinginkan sebesar 823 kV, maka diperlukan 66 keping ZnO tersusun ke atas. Hal ini akan menyebabkan tinggi LA mencapai 3 meter, dimana kestabilan mekanis LA tidak baik, oleh karenanya LA juga didesain untuk dipasang bertingkat. Jadi, fungsi dari keping *Zinc Oxide* (ZnO) yang terdapat pada *arrester* ini sendiri yaitu sebagai bahan penahan dari tegangan lebih. Drop Tegangan terjadi pada batasan partikel ZnO. Ada batasan potensial pada setiap partikel ZnO dan pembatas potensial ini mengontrol aliran arus dari satu partikel ke partikel lainnya.

## 2. Housing *Lightning Arrester*

Dalam sangkar rod terdapat tumpukan keping ZnO yang pada umumnya terbuat dari *Fiber Glass Reinforced Plastic* (FRP). Pada kedua ujung kolom *active part*, *compression spring* dipasang untuk

memastikan susunan keping ZnO yang memiliki ketahanan mekanis. Sementara, kompartemen atau *housing* tersebut terbuat dari porselen maupun polymer. Kemudian *aluminium flange* direkatkan pada kedua ujung housing dengan menggunakan semen.

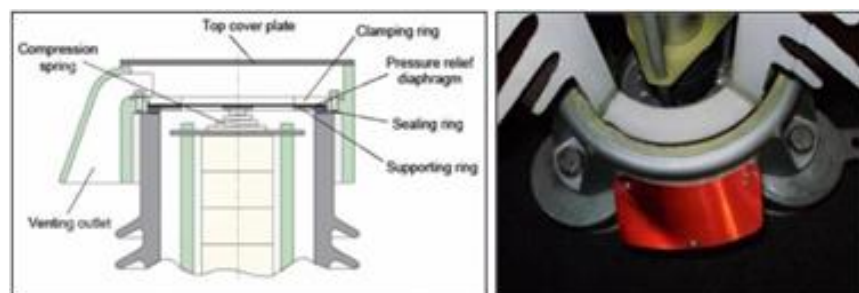


**Gambar 2.6** Konstruksi Housing *Lightning Arrester*

(sumber: Buku Pedoman Pemeliharaan 2014:6)

### 3. *Sealing dan Pressure Relief Systems*

Letak posisi dari *sealing ring* dan *pressure relief system* dipasang pada kedua ujung *lightning arrester*. *Sealing ring* tersebut terbuat dari material sintetis sementara *pressure relief system* terbuat dari steel/ nikel. Sebagai katup pelepasan tekanan internal, *pressure relief system* bekerja pada saat *lightning arrester* mengalirkan arus sambaran petir.



**Gambar 2.7** *Sealing dan Pressure Relief System*

(sumber: Buku Pedoman Pemeliharaan 2014:6)

#### 4. Grading Ring

Pada ketinggian lebih besar dari 1.5 meter atau pada *lightning arrester* yang dipasang secara bertingkat diperlukan adanya *grading ring*. Fungsi dari *grading ring* itu sendiri sebagai kontrol distribusi medan listrik sepanjang permukaan *lightning arrester*. Posisi medan listrik tersebut memiliki posisi yang lebih tinggi pada bagian yang dekat dengan tegangan, sehingga *stress active part* jauh lebih tinggi dibandingkan pada posisi di bawahnya. Stress ini dapat menyebabkan degradasi pada komponen *active part*.



**Gambar 2.8** *Lightning Arrester* tegangan tinggi dengan *grading ring*  
(sumber: Buku Pedoman Pemeliharaan 2014:6)

#### 5. Peralatan *Monitoring* dan Insulator Dudukan *Lightning Arrester*

Pada peralatan *monitoring*, *Lightning Arrester* dilengkapi dengan *discharge counter* serta milimimeter (mA). Kawat pentanahan dilewatkan dahulu pada peralatan *monitoring* sebelum dimonitoring. Maka, pada kedua ujung peralatan monitor maupun pada dudukan *lightning arrester*, insulator dudukan perlu dipasang baik, agar ketika arus yang melewati *lightning arrester* hanya melewati kawat pentanahan.



**Gambar 2.9** Insulator *Lightning Arrester*

(Sumber : Buku Pedoman Pemeliharaan *Lightning Arrester* KEPDIR 0520-2.K/DIR/2014 PT PLN (PERSERO))



**Gambar 2.10** Counter LA dan Meter Arus Bocor Total LA

(Sumber : Buku Pedoman Pemeliharaan *Lightning Arrester* KEPDIR 0520-2.K/DIR/2014 PT PLN (PERSERO))

#### 6. Struktur Penyangga *Lightning Arrester*

Letak posisi *lightning arrester* pada posisi tertentu dengan ketinggian tertentu dari permukaan tanah diperlukan adanya struktur penyangga sebagai penahan dari *lightning arrester* tersebut. Diharapkan dengan adanya struktur penyangga tersebut *lightning arrester* semakin kuat dan kokoh.



**Gambar 2.11** Struktur Penyangga *Lightning Arrester*

(sumber: Buku Pedoman Pemeliharaan 2014:6)

### 2.3.5 Jenis-jenis *lightning arrester*<sup>6</sup>

Sebagai peralatan proteksi pada jaringan tinggi gardu induk, *Arrester* memiliki bermacam-macam jenis sesuai dengan prinsip kerja masing-masing *arrester*. Dibawah ini dijelaskan jenis *arrester* yang biasa dipasang pada gardu induk, yaitu :

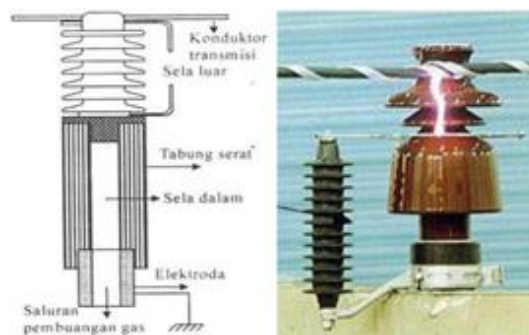
#### 1. *Arrester* jenis ekspulsi (*expulsion type*)

*Arrester* ini pada prinsipnya adalah apabila terjadi gangguan tegangan lebih (*over voltage*) sampai pada titik terminal *arrester*, maka hal yang akan terjadi adalah pada serat dan sela percik batang yang berada diluar terjadi *spark over* serta terjadi sela percik pada tabung bagian dalam. Apabila terjadi sambaran petir pada terminal *arrester*, maka terjadi percikan pada kedua sela sehingga muatan listrik dapat langsung dibumikan. Ketika pada posisi tegangan tertentu *arrester* bersifat konduktor dan kemudian akan mengalir

---

<sup>6</sup> Ibnu Hajar. 2017. *Kajian Pemasangan Lightning Arrester Pada Sisi Hv Transformator Daya Unit Satu Gardu Induk Teluk Betung*. Hal. 170-171

*discharger current* tegangan lebih. Kemudian apabila tegangan lebih hilang, maka akan mengalirkan arus (*flow current*) dari tegangan sistem. Kemudian akan terjadi pemanasan akibat mengalirnya arus pada tabung *arrester* yang membangkitkan gas dari dinding fiber akibat tekanan udara dalam tabung naik dan gas keluar. Dibawah ini salah satu gambar dari *arrester* jenis ekspulsi pada jaringan tegangan menengah.



**Gambar 2.12** *Arrester* jenis ekspulsi (*expulsion type*)

(sumber: Mukhalidillah.blogspot.com )

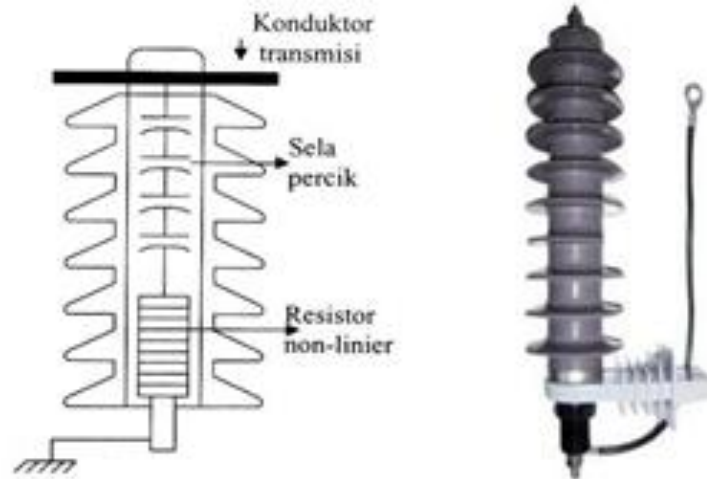
Jadi *arrester* ini dapat digunakan untuk melindungi transformator distribusi bertegangan 3-15 kV, namun belum optimal untuk melindungi transformator daya.

## 2. *Arrester* jenis katup (*valve type*)

### a. *Arrester* katup sela pasif

*Arrester* sela pasif digunakan pada jaringan distribusi hantaran udara. *Arrester* ini terdiri dari sela percik, *resistor non linier* dan isolator tabung. Sela percik terdiri dari beberapa susunan *elektroda* plat-plat terhubung seri. Sela percik dan *resistor non linier* keduanya ditempatkan didalam tabung isolasi tertutup, sehingga kerja *arrester* ini tidak dipengaruhi oleh keadaan udara sekitar. *Resistor non-linier* terbuat dari beberapa *silicon karbida* (*silicon carbide*) yang terhubung seri. Ukuran diameter piring kurang lebih 90 mm, sedangkan tebalnya kurang lebih

25 mm. Nilai resistansi resistor ini sangat besar ketika melewati arus lemah, tetapi nilai resistansinya sangat rendah ketika dilewati arus kuat.



**Gambar 2.13** Arrester jenis katup (*valve type*)

(sumber: Indiamart.com)

b. *Arrester* katup sela aktif

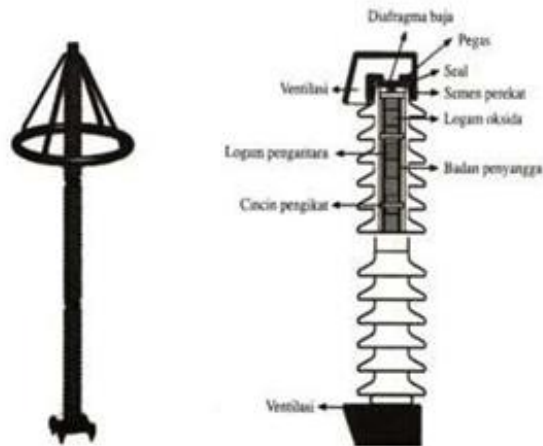
*Arrester* sela aktif digunakan pada jaringan tegangan tinggi dan titik pusat jaringan distribusi. Konstruksi *arrester* katup sela aktif hampir sama dengan *arrester* katup sela pasif, perbedaannya terletak pada metode pemadaman busur api pada sela percik. Pada *arrester* katup sela aktif, untuk memadamkan busur api, yaitu memperpanjang dan mendinginkan busur api dengan cara membangkitkan medan magnet pada sela percik.

c. *Arrester* katup tanpa sela percik

*Arrester* tanpa sela digunakan untuk semua tingkat tegangan. Konstruksi *arrester* jenis tanpa katup diperlihatkan pada gambar 2.13. *Arrester* ini tidak menggunakan sela percik seperti halnya kedua *arrester* katup terdahulu, tetapi hanya menggunakan *resistor non-linier* yang terbuat dari *logam oksida*



(*Metal Oxide*). Karena bahan utamanya adalah *logam oksida*, dalam praktik sehari-hari *arrester* ini dinamai *Arrester MO*.



**Gambar 2.14** Kontruksi *Arrester* Logam Oksida

(sumber: Indiamart.com)

d. *Arrester* katup jenis gardu

*Arrester* katup jenis gardu ini adalah jenis yang paling efisien dan juga paling mahal. Perkataan “gardu” di sini berhubungan dengan pemakaiannya secara umum pada gardu induk besar. Umumnya dipakai untuk melindungi alat-alat yang mahal pada rangkaian- rangkaian mulai dari 2.400 volt sampai 287 kV dan lebih tinggi.

e. *Arrester* katup jenis saluran

*Arrester* jenis saluran ini lebih murah dari *arrester* jenis gardu. Kata “saluran” disini bukanlah berarti untuk perlindungan saluran transmisi. Seperti *arrester* jenis gardu, *arrester* jenis saluran ini juga dipakai pada gardu induk untuk melindungi peralatan yang kurangpenting. *Arrester* jenis saluran ini dipakai pada sistem dengan tegangan 15 kV sampai 69 kV.

f. *Arrester* Jenis Gardu Untuk Mesin-Mesin

*Arrester* jenis gardu ini khusus untuk melindungi mesin-mesin berputar. Pemakaiannya untuk tegangan 2,4 kV sampai 15 kV.

g. *Arrester* Katup Jenis Distribusi Untuk Mesin-Mesin

*Arrester* jenis distribusi ini khusus untuk melindungi mesin-mesin berputar dan juga untuk melindungi transformator dengan pendinginan udara tanpa minyak. *Arrester* jenis ini dipakai pada peralatan dengan tegangan 120 volt sampai 750 volt.

## 2.4 Failure Mode Effect Analysis Lighting *Arrester*<sup>1</sup>

FMEA (*Failure Mode Effect Analysis*) merupakan analisis yang dilaksanakan untuk mendapatkan gejala kegagalan pada sebuah peralatan dengan menerapkan keterkaitan sebab-akibat antara kegagalan yang satu dengan penyebab sebelumnya, demikian seterusnya hingga ditemukan penyebab kegagalan yang paling awal. Dengan mengetahui gejala kegagalan, dapat ditentukan metode inspeksi/pengujian yang perlu dilaksanakan sehingga gangguan dapat dicegah. Dalam analisis FMEA, sebuah peralatan dipandang berdasarkan sistem dan sub sistemnya. Setiap sistem memiliki fungsi, demikianpun setiap sub sistem memiliki sub fungsi. Kegagalan dilihat dari sudut pandang kegagalan sebuah sistem/ sub sistem dalam melaksanakan fungsi/ sub fungsinya. Sebuah sistem *lightning arrester* terdiri dari sub sistem sebagai berikut:

- 1.Sub Sistem Active Part
- 2.Sub Sistem Insulasi
- 3.Sub Sistem Struktur Penyangga
- 4.Sub Sistem Sealing Systems

---

<sup>1</sup> PT.PLN(Persero),2014,Buku Pedoman Pemeliharaan Lightning Arrester(LA), SE No. 0520-2.K/DIR/2014, Hal 9.

5.Sub Sistem Junction

6.Sub Sistem Pentanahan

7.Sub Sistem Grading Ring

8.Sub Sistem Monitoring

## 2.5 Faktor yang Mempengaruhi Kinerja Lightning Arrester<sup>3</sup>

Adapun faktor-faktor yang dapat memengaruhi kinerja *lightning arrester* lebih banyak berasal dari *lightning arrester* itu sendiri atau berupa faktor internal, yaitu sebagai berikut:

- a. Keping blok varistor atau *active part* metal oksida mengalami degradasi.
- b. Polutan yang tinggi pada permukaan *Lightning Arrester*.
- c. Polutan (*moisture*) masuk ke dalam internal housing *lightning arrester* sehingga menyebabkan degradasi lebih jauh pada keping blok varistor atau *active part*.
- d. Reaksi kimia antara varistor atau *active part* metal oksida dengan material di sekitar keping blok varistor atau *active part* metal oksida, seperti gas radikal bebas.
- e. Terjadinya hubung singkat fasa ke tanah ketika *lightning arrester* beroperasi pada tegangan normal ataupun saat terjadi surja petir.
- f. Tekanan berlebih di dalam internal lightning arerster pada saat terjadi surja tidak tersalurkan ke luar porcelain housing dari *lightning arrester*.
- g. Kesalahan proses manufaktur.
- h. Kawat pentanahan tidak terkoneksi dengan *lightning arrester* secara baik.

---

<sup>3</sup> An Nissa,2020," PERHITUNGAN PERSENTASE ARUS BOCOR LIGHTNING ARRESTER PADA BAY TRAF0 1 DI GARDU INDUK CIKUPA 150 KV",Hal 19.

- i. Mur dan baut pada kawat pentanahan kendur atau pada mur dan baut pada kawat pentanahan terjadi korosi.

## 2.6 Pemilihan *Arrester*<sup>3</sup>

Dalam pemilihan jenis *arrester*, terdapat beberapa faktor yang harus diperhatikan agar *arrester* sesuai untuk suatu perlindungan tertentu. Yaitu:

- a. Faktor kondisi luar.

Faktor luar yang diperhatikan dalam pemilihan *arrester* yaitu kondisi luar yang normal atautkah tidak normal. Kondisi yang kurang baik dapat disebabkan karena temperatur atau kelembaban yang tinggi serta faktor pengotoran.

- b. Tegangan sistem.

Tegangan sistem adalah tegangan yang terdapat pada terminal *arrester*.

- c. Arus hubung singkat.

*Arrester* yang memerlukan arus hubung singkat sistem ini hanyalah *arrester* jenis ekspulsi.

- d. Kebutuhan perlindungan.

Kekuatan isolasi peralatan yang harus dilindungi dan karakteristik impuls dari *arrester* merupakan suatu contoh yang berhubungan dengan kebutuhan perlindungan.

- e. Faktor ekonomi.

Perbandingan antara biaya kerusakan dan pemeliharaan apabila tidak ada *arrester* atau ada *arrester* yang dipasang berumutu lebih rendah termasuk kedalam faktor ekonomi.

---

<sup>3</sup> An Nissa,2020, " PERHITUNGAN PERSENTASE ARUS BOCOR LIGHTNING ARRESTER PADA BAY TRAF0 1 DI GARDU INDUK CIKUPA 150 KV",Hal 20.

## 2.7 Pemeliharaan *Lightning Arrester*<sup>1</sup>

Kegiatan pemeliharaan yang tercantum di dalam buku pedoman ini merupakan *proactive maintenance*, yakni pemeliharaan yang bertujuan untuk mencegah terjadinya *failure* (kegagalan) peralatan. Kegiatan *reactive maintenance* (kegiatan perbaikan pasca gangguan) tidak termasuk dalam buku ini. Kegiatan *proactive maintenance* dapat dibedakan menjadi *preventive maintenance* dan *predictive maintenance*.

*Preventive maintenance* dikenal juga sebagai *Time Based Maintenance* (TBM). Dalam TBM, kegiatan pemeliharaan dilaksanakan dengan interval tertentu, tanpa memperhatikan apakah kondisi peralatan memang sudah memerlukan tindakan pemeliharaan atau tidak. Termasuk di dalam TBM adalah:

1. *Scheduled restoration.*
2. *Scheduled discard.*

*Predictive maintenance* merupakan kegiatan pemeliharaan yang bertujuan untuk mengetahui kondisi peralatan, termasuk juga kegiatan pemeliharaan yang dilaksanakan berdasarkan kondisi peralatan tersebut. Termasuk di dalam *predictive maintenance* adalah sebagai berikut:

1. *Condition monitoring.*
2. *Condition Based Maintenance (CBM)*
3. *Lifetime prediction.*

*Preventive maintenance* pada *Lightning Arrester* sebagai contoh adalah sebagai berikut: penggantian LA berdasarkan asesmen hasil ukur LCM. *Predictive maintenance* pada *Lightning Arrester* sebagai contoh adalah

---

<sup>1</sup> PT.PLN(Persero),2014,Buku Pedoman Pemeliharaan Lightning Arrester(LA), SE No. 0520-2.K/DIR/2014, Hal 10.

sebagai berikut: pengukuran arus bocor resistif LA (LCM), perubahan interval pengukuran LCM setelah diketahui kondisi LA “*Weak*”, pengukuran nilai tahanan insulasi LA. Di dalam buku pedoman ini, kegiatan *predictive maintenance* dikelompokkan ke dalam 3 level inspeksi berdasarkan tingkat kesulitan pelaksanaan dan jenjang diagnosa, yaitu:

#### 1. Inspeksi Level-1 (*Visual Inspection*)

Inspeksi *online* yang bersifat superficial, bertujuan untuk mendeteksi adanya ketidaknormalan atau anomali pada peralatan dan menginisiasi inspeksi lanjutan. Kegiatan ini dilaksanakan dengan menggunakan panca indera (penglihatan, pendengaran, penciuman).

##### a. Inspeksi visual

Inspeksi visual adalah kegiatan pengamatan komponen/ bagian dari *Lightning Arrester* yang dilaksanakan secara visual atau menggunakan alat bantu *binocular*. Petugas mengisi *form checklist* berdasarkan hasil pengamatan.

##### b. Inspeksi Audio

Inspeksi audio adalah kegiatan pengamatan komponen/ bagian dari *Lightning Arrester* yang dilaksanakan menggunakan indera pendengaran untuk mengetahui anomali peralatan. Petugas mengisi *form checklist* berdasarkan hasil pendengaran.

#### 2. Inspeksi Level-2 (*In-Service Measurement*)

Inspeksi Level-2 di LA adalah kegiatan pengukuran arus bocor resistif atau dikenal juga dengan LCM. Pengukuran LCM hanya dilaksanakan pada LA yang berada di Gardu Induk dan *Lightning Arrester* harus dalam keadaan beroperasi/bertegangan.

#### 3. Inspeksi Level-3 (*Shutdown Measurement*)

Inspeksi *offline* yang bertujuan untuk mengetahui kondisi peralatan (*condition assessment*), dilaksanakan dalam kondisi tidak bertegangan. Pemeliharaan level 3 yang dilakukan pada *Lightning Arrester* antara lain

Pengukuran Tahanan Insulasi (*Megger Test*), Pengukuran Tahanan Pentanahan, dan Pengujian Surge Counter LA.

## 2.8 Pengukuran Arus Bocor Resistif (LCM)

Pengukuran arus bocor (*Leakage Current Measurement*) merupakan salah satu pemeliharaan yang dilakukan pada *Lightning Arrester* dan Pengujian dilakukan pada keadaan peralatan sedang operasi (*In-Service Measurement*). Pada saat *Lightning Arrester* berfungsi sebagai insulator atau dalam keadaan normal, LA mengalirkan beberapa miliampere arus bocor ke tanah. Besaran arus bocor ini tidak boleh melebihi dari standar yang telah ditetapkan, maka dari itu perlu dilakukannya pengujian arus bocor agar menjaga keandalan dari *Lightning Arrester* itu sendiri.

### 2.8.1 Arus bocor<sup>3</sup>

Arus bocor adalah arus yang terjadi bila isolasi dari isolator pada Gardu Induk tidak memenuhi standar atau syarat, baik itu antar peralatan maupun dengan tanah atau ground. Timbulnya arus bocor diawali oleh adanya lapisan konduktif pada permukaan isolator. Permukaan isolator memiliki tahanan listrik yang besar pada keadaan yang bersih. Adanya kontaminasi pada permukaan isolator disebabkan karena adanya pembentukan lapisan konduktif yang mampu menyebabkan menurunnya nilai tahanan pada permukaan isolator. Terjadinya arus bocor pada permukaan isolator disebabkan karena penurunan nilai tahanan pada permukaan isolator. Apabila tegangan yang harus ditahan sebuah isolator melebihi dari kemampuannya maka akan terjadi aliran arus pada permukaan isolator. Arus ini sering disebut arus bocor atau arus rambat. Arus bocor yang terjadi pada permukaan bahan isolasi dari isolator pasangan luar tergantung dari kondisi polutan, temperatur dan kondisi cuaca yang menyebabkan kontaminasi pada permukaan.

---

<sup>3</sup> An Nissa,2020," PERHITUNGAN PERSENTASE ARUS BOCOR LIGHTNING ARRESTER PADA BAY TRAF0 1 DI GARDU INDUK CIKUPA 150 KV",Hal 27.

### 2.8.2 Standar pengukuran arus bocor resistif

Dalam pengukuran arus bocor (*Leakage Current Measurement*) terdapat Batasan arus bocor yang telah ditetapkan pada SK DIR No.0520 Tahun 2014. batasan arus bocor memiliki nilai yang berbeda sesuai dengan standar pabrikan masing-masing yang dapat dilihat pada tabel dibawah ini,

**Tabel 2.1.** Batasan Nilai Arus Bocor Resistif Maksimum dari Beragam Pabrikan<sup>3</sup>

| Merk         | Tipe                           | Ires, max<br>( $\mu$ A) | kV      |
|--------------|--------------------------------|-------------------------|---------|
| ABB          | XAR/EXLIM R                    | 91                      | 70, 150 |
|              | XAQ/XMQ                        | 13                      | 150     |
|              | XAP-A/XAP-C/EXLIM Q            | 167                     | 70, 150 |
|              | EXLIM P-A/EXLIM P-B/ EXLIM P-D | 167                     | 150,    |
|              | XAP-B/EXLIM P-C                | 331                     | 500     |
|              | EXLIM T                        | 251                     | 500     |
| Bowthrope    | 2VACM                          | 91                      | 150     |
| Ohio Brass   | MPR                            | 91                      | 70, 150 |
|              | VN                             | 130                     | -       |
| Westinghouse | W1                             | 91                      | -       |

Apabila pabrikan tidak memberikan batasan nilai arus bocor resistif maksimum, maka digunakan batasan nilai arus bocor resistif maksimum dengan pendekatan statistik berdasarkan buku Pedoman Pemeliharaan *Lightning Arrester* KEPDIR 0520-2.K/DIR/2014 PT PLN (PERSERO), seperti yang ada pada tabel dibawah ini,

<sup>3</sup> An Nissa,2020," PERHITUNGAN PERSENTASE ARUS BOCOR LIGHTNING ARRESTER PADA BAY TRAF0 1 DI GARDU INDUK CIKUPA 150 KV",Hal 33.



**Tabel 2.2** Batasan Nilai Arus Bocor Maksimum<sup>1</sup>

| kV  | Ires,max   |
|-----|------------|
|     | ( $\mu$ A) |
| 70  | 100        |
| 150 | 150        |
| 500 | 250        |

Setelah dilakukan pengujian, maka perlu menentukan tindakan lanjut atau rekomendasi dari hasil pengujian. Yaitu dengan menghitung nilai rata-rata arus bocor *corrective* kemudian menghitung persentase (%) arus resistif maksimum untuk mengetahui tindakan lanjut yang akan dilakukan pada *Lightning Arrester* yang sedang diuji. Perhitungan rata-rata nilai arus bocor *corrective* menggunakan rumus sebagai berikut : Perhitungan persentase (%) menggunakan rumus sebagai berikut:

$$\bar{x} \text{ Ires Corr} = \frac{\text{Pengukuran 1} + \text{Pengukuran 2} + \text{Pengukuran 3} + \text{Pengukuran 4}}{4} \dots\dots(2.1)$$

Dimana:

$\bar{x}$  Ires Corr = Rata-rata arus bocor resistif *corrective*

Pengukuran 1 = Nilai pengukuran yang dilakukan di sisi depan dari arrester

Pengukuran 2 = Nilai pengukuran yang dilakukan di sisi kanan dari arrester

Pengukuran 3 = Nilai pengukuran yang dilakukan di sisi belakang dari arrester

Pengukuran 4 = Nilai pengukuran yang dilakukan di sisi kiri dari arrester

<sup>1</sup> PT.PLN(Persero),2014,Buku Pedoman Pemeliharaan Lightning Arrester(LA), SE No. 0520-2.K/DIR/2014, Hal 33.

Kemudian untuk perhitungan persentase (%) menggunakan rumus sebagai berikut:

$$\text{Persentase(\%) Ires Max} = \frac{\bar{X} \text{ Ires Corr}}{\text{Ires Max}} \times 100\% \dots \dots \dots (2.2)$$

Dimana:

$\bar{x}$  Ires Corr = Rata-rata arus bocor resistif corrective

Ires Max = Batas arus bocor resistif maksimum

Setelah dilakukan perhitungan, dilakukan perbandingan dengan standar arus bocor maksimum. Dilakukan perbaikan apabila melebihi dari nilai standar yang ditentukan. Berikut tabel rekomendasi dan tabel pengujian dari hasil pengukuran LCM :

**Tabel 2.3** Rekomendasi Hasil Uji LCM<sup>1</sup>

| % dari Ires Max | Tindakan                                     |
|-----------------|--|
| ≤90%            | Melakukan Pengukuran LCM Tahunan             |
| 91%-99%         | Melakukan Pengukuran LCM 6 Bulan<br>Kemudian |
| ≥100%           | Penggantian LA                               |

**Tabel 2.4** Tabel Penguji LCM

| Fasa | Kondisi Pengukuran 1            |                               |                       | Kondisi Pengukuran 2            |                               |                       |
|------|---------------------------------|-------------------------------|-----------------------|---------------------------------|-------------------------------|-----------------------|
|      | Arus(R<br>es)<br>Uncorr<br>(μA) | Arus(R<br>es)<br>Corr<br>(μA) | Arus<br>Total<br>(μA) | Arus<br>(Res)<br>Uncorr<br>(μA) | Arus<br>(Res)<br>Corr<br>(μA) | Arus<br>Total<br>(μA) |
|      |                                 |                               |                       |                                 |                               |                       |

<sup>1</sup> PT.PLN(Persero), 2014, *Kondisi Pengukuran Lightning Arrester*, Hal 33.

|      |  |  |                                    |  |  |                                    |
|------|--|--|------------------------------------|--|--|------------------------------------|
| R    |  |  |                                    |  |  |                                    |
| S    |  |  |                                    |  |  |                                    |
| T    |  |  |                                    |  |  |                                    |
| Fasa | Kondisi Pengukuran 3                         |  |                                    | Kondisi Pengukuran 4                         |  |                                    |
|      | Arus<br>(Res)<br>Uncorr<br>( $\mu\text{A}$ ) | Arus<br>(Res)<br>Corr<br>( $\mu\text{A}$ ) | Arus<br>Total<br>( $\mu\text{A}$ ) | Arus<br>(Res)<br>Uncorr<br>( $\mu\text{A}$ ) | Arus<br>(Res)<br>Corr<br>( $\mu\text{A}$ ) | Arus<br>Total<br>( $\mu\text{A}$ ) |
| R    |  |  |                                    |  |  |                                    |
| S    |  |  |                                    |  |  |                                    |
| T    |  |  |                                    |  |  |                                    |

Keterangan Tabel :

- Ires Uncorr adalah Hasil pengukuran arus bocor tanpa adanya penyesuaian dengan suhu lingkungan sekitar.
- Ires Corr adalah Hasil pengukuran arus bocor yang sudah ada penyesuaian dengan suhu lingkungan sekitar. Arus Corrective merupakan hasil pengujian yang lebih presisi dikarenakan sudah dikalibrasi dengan suhu lingkungan sekitar pada saat pengujian dilakukan.
- Arus total adalah arus bocor resestif uncorrective yang terukur selama pengujian. Pengujian dilakukan selama 20 detik.



Pengujian arus bocor (*Leakage Current Measurement*) merupakan salah satu pemeliharaan yang dilakukan pada *Lightning Arrester* dan Pengujian dilakukan pada keadaan peralatan sedang operasi (*In-Service Measurement*). Pada saat *Lightning Arrester* berfungsi sebagai insulator atau dalam keadaan normal, LA mengalirkan beberapa miliampere arus bocor ke tanah. Besaran arus bocor ini tidak boleh melebihi dari standar yang telah ditetapkan, maka dari itu perlu dilakukannya pengujian arus bocor agar menjaga keandalan dari *Lightning Arrester* itu sendiri.