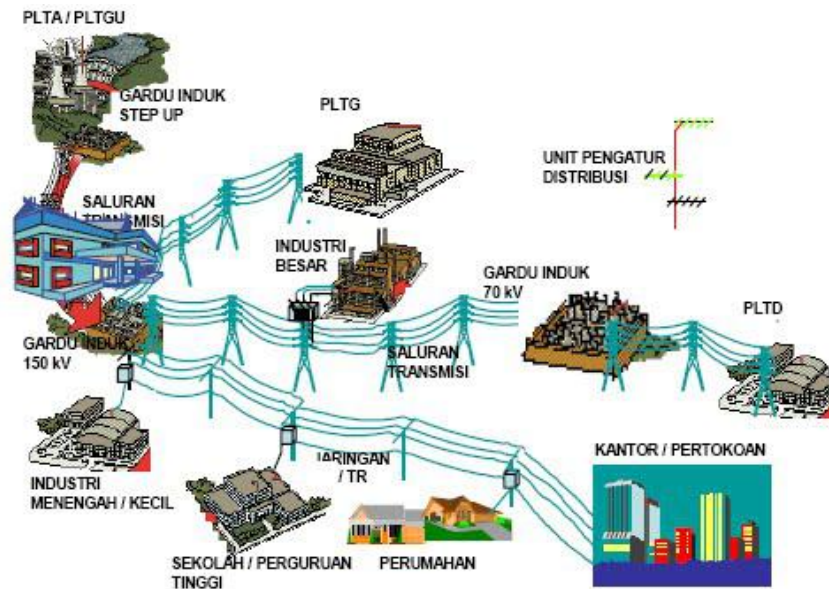


BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Sistem Penyaluran Tenaga Listrik¹



Gambar 2.1 Sistem Penyaluran Tenaga Listrik

Penyaluran Tenaga Listrik dimulai pada proses pembangkitan. Pembangkitan adalah proses dimana listrik dibangkitkan, listrik adalah suatu energi dimana energi hanya bisa dirubah, maka energi listrik berasal dari pengubahan energi, bisa dari energi apapun contohnya diantara lain adalah PLTA (Pusat Listrik Tenaga Air) dari energi air, PLTU (Pusat Listrik Tenaga Uap) dari uap panas, PLTD (Pusat Listrik Tenaga Diesel) yang memakai bahan bakar minyak, dan masih banyak lagi. Prinsip pembangkitan energi listrik pada dasarnya energi awal (yang akan dirubah menjadi energi listrik) dipakai untuk memutar turbin yang terhubung dengan generator, dalam generator ada kumparan dan magnet digerakkan oleh turbin yang bergerak oleh energi primer, menghasilkan elektromagnetik yang akan menghasilkan listrik. Tegangan listrik yang dihasilkan

¹ Afandi. 2005. *Operasi Sistem dan Pengendalian*. Hal 1



oleh generator pembangkit listrik sekitar 12 kV – 20 kV dan disalurkan ke Transmisi, sebelum masuk ke Transmisi tegangan di naikkan (Step-up) oleh Trafo Step Up.

Transmisi / Penyaluran adalah proses penyaluran listrik dari pembangkitan, tegangan dari pembangkitan di naikkan menjadi tegangan standar transmisi di Indonesia yaitu ada 70 kV, 150 kV yang diklasifikasikan sebagai Tegangan Tinggi (TT) dan 500 kV, yang diklasifikasikan sebagai Tegangan Ekstra Tinggi (TET). Tujuan tegangan dinaikkan agar mengurangi rugi-rugi daya akibat panjangnya saluran, makin tinggi tegangannya maka makin berkurang rugi daya yang terjadi. Tegangan yang akan diturunkan pada Distribusi biasanya tegangan 150 kV dan 70 kV, sedangkan 500 kV dipakai untuk penyaluran. Saluran transmisi terdiri dari saluran udara yang biasa disebut SUTT / SUTET dan kabel bawah tanah yang biasa disebut SKTT. Untuk saluran udara biasanya terlihat dari tower-tower listrik yang besar, makin tinggi tegangannya makin besar struktur towernya.

Distribusi adalah proses penyaluran dari transmisi hingga ke konsumen, Distribusi terbagi menjadi distribusi primer dan distribusi sekunder. Distribusi primer adalah penyaluran listrik dari transmisi yang telah diturunkan tegangannya oleh trafo step-down menjadi 20 kV yang diklasifikasikan sebagai tegangan menengah (TM), dan disalurkan melalui penyulang-penyulang (feeder). Sama seperti transmisi, saluran distribusi primer ada yang saluran udara (SUTM) dan kabel bawah tanah (SKTM). Pada SUTM biasanya kita melihat di pinggir jalan ada tiang dengan tiga kawat konduktor di atasnya. Sebelum masuk ke Distribusi sekunder listrik akan diturunkan lagi tegangannya oleh trafo step-down menjadi tegangan pakai. Distribusi sekunder adalah saluran dari trafo step-down distribusi hingga ke kWh pelanggan, tegangan pada distribusi sekunder adalah tegangan pakai yaitu 380/220 Volt yang diklasifikasikan sebagai tegangan rendah (TR).

2.2 Gardu Induk Transmisi²

Gardu induk transmisi yaitu gardu induk yang mendapat daya dari saluran transmisi untuk kemudian menyalurkannya ke daerah beban (industri, kota, dan sebagainya). Gardu induk transmisi yang ada di PLN adalah tegangan tinggi 150 kV dan tegangan tinggi 70 kV. Pada gardu induk tegangan tinggi, terdapat 2 jenis gardu induk yang dibedakan berdasarkan jenis isolasi busbarnya, yaitu sebagai berikut :

a. Gardu Induk SF6

Gardu induk SF6 seperti ini sangat hemat tempat sebab menggunakan gas SF6 sebagai isolasi antara bagian yang bertegangan dan ditempatkan didalam suatu selubung besi. Gardu induk SF6 disebut juga dengan gardu induk pasangan dalam.



Gambar 2.2 Gardu Induk SF6 (GIS)

b. Gardu Induk Konvensional

Gardu Induk yang menggunakan udara menjadi isolasi antara bagian yang bertegangan dan dengan demikian memerlukan tempat yang cukup luas. Gardu induk konvensional disebut juga gardu induk pasangan luar. Jenis pasangan luar

² Pusdiklat PT.PLN (Persero). 2012. *Peralatan Gardu Induk*. Hal 3-4

memerlukan tanah yang luas. Namun, biaya konstruksi yang murah dan pendinginannya murah.



Gambar 2.3 Gardu Induk Konvensional

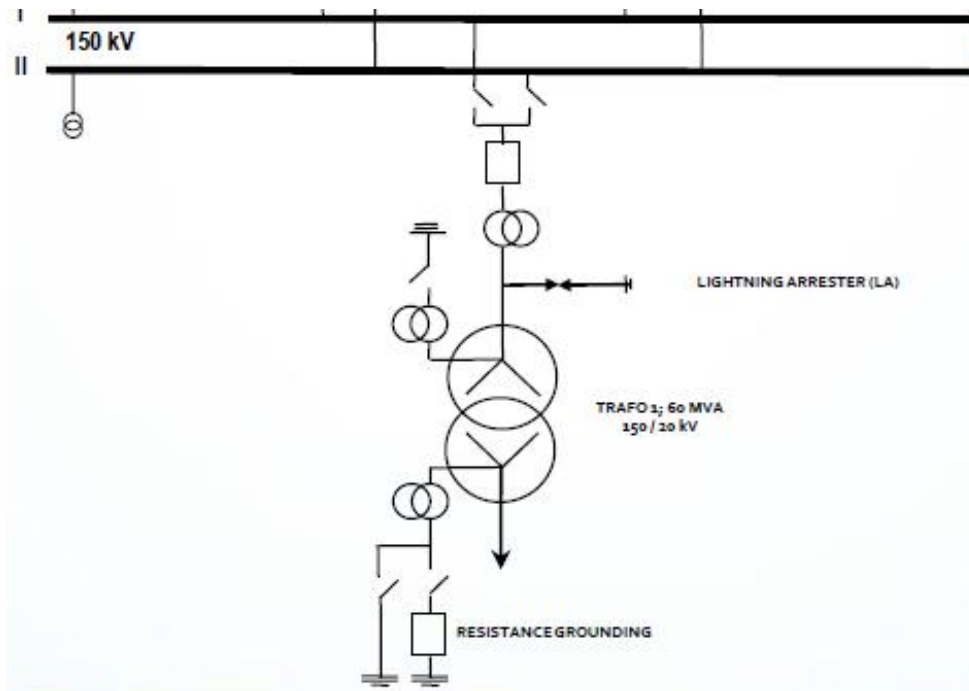
2.3 Macam-Macam Bay³

Bay merupakan susunan peralatan switching yang terdapat pada *switchyard* 70 kV sampai 150 kV.

2.3.1 Bay Trafo

Seluruh peralatan pada suatu jurusan Transformator. Terdiri dari beberapa komponen peralatan listrik yang dihubungkan kepada Transformator.

³ Pusdiklat PT.PLN (Persero).2012.*Pengoperasian Gardu Induk*.Hal 54



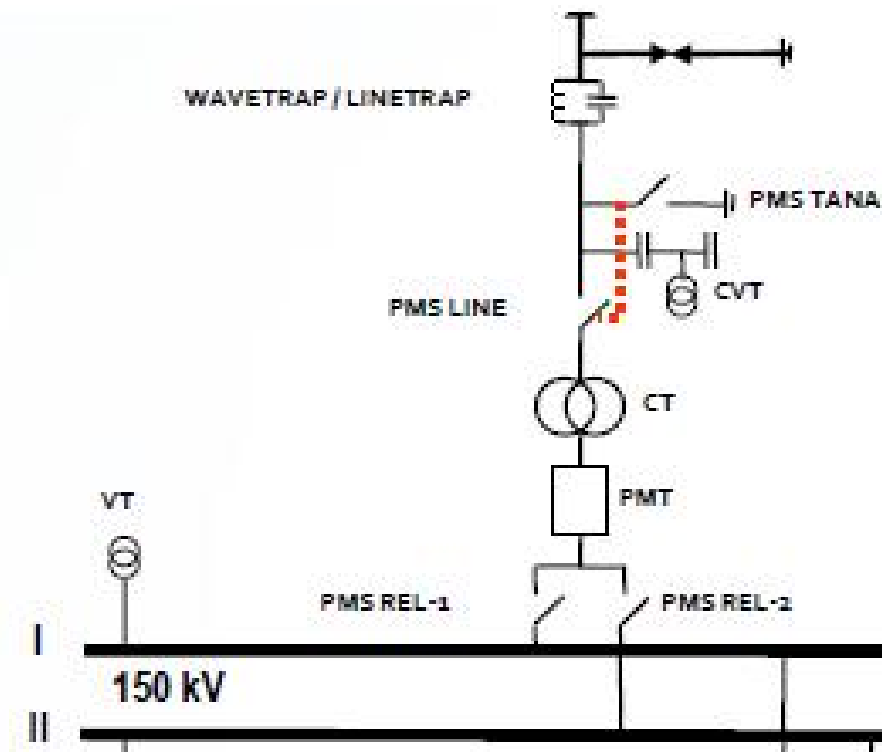
Gambar 2.4 Bay Trafo

Komponen peralatan listrik yang terpasang yaitu :

- PMS Busbar 1 dan PMS Busbar 2
- Pemutus Tenaga (PMT)
- Current Transformator (CT)
- Lightning Arrester (LA)
- Transformator Daya

2.3.2 Bay Penghantar

Adalah seluruh peralatan pada suatu jurusan transmisi. Terdiri dari beberapa komponen peralatan listrik yang dihubungkan kepada saluran udara tegangan tinggi (SUTT) atau kepada saluran kabel tanah tegangan tinggi (SKTT) antara Gardu Induk.



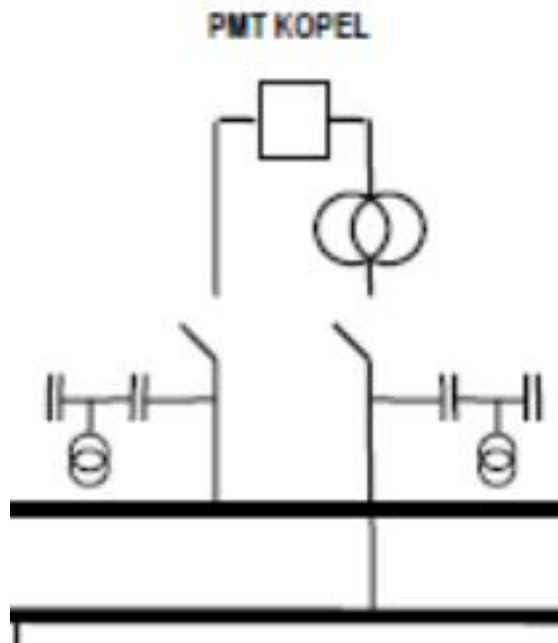
Gambar 2.5 Bay Penghantar

Komponen peralatan listrik yang terpasang yaitu :

- Lightning Arrester (LA)
- Potensial Transformator (PT)
- PMS Line dan PMS Ground
- Current Transformator (CT)
- Pemutus Tenaga (PMT)
- PMS Busbar 1 dan PMS Busbar 2

2.3.3 Bay Kopel

Seluruh peralatan pada suatu jurusan Pmt Kopel. Gardu Induk dengan Rel Ganda, antara Rel-1 dan Rel-2 digandeng (kopel) dengan Pmt Kopel.



Gambar 2.6 Bay Kopel

Komponen peralatan listrik yang terpasang yaitu :

- PMS Busbar 1 dan PMS Busbar 2
- Current Transfornator (CT)
- Pemutus Tenaga (PMT)

2.4 Tegangan Lebih⁴

Tegangan lebih dapat didefinisikan sebagai tegangan yang telah melewati tingkat isolasi dasar atau BIL (*Basic Insulation level*) peralatan serta hanya dapat ditahan oleh sistem tenaga listrik pada waktu yang sangat singkat. Tegangan lebih yang disebabkan karena petir biasa dikenal sebagai *natural overvoltage* karena petir merupakan peristiwa alamiah yang tidak dapat diprediksi pada saat menyambar dan tidak dapat kendalikan oleh manusia.

⁴ Hakim, Fahreza Abi. 2018. *Analisa Kinerja Surge Arrester Terhadap Kenaikan Tegangan Akibat Sambaran Petir Di Saluran OCS Kereta Rel Listrik*. Hal 13

Pada saat gardu induk dan peralatan (beban) mengalami kenaikan tegangan yang disebabkan oleh sambaran petir tanpa terpasangnya sistem proteksi, maka sistem isolasi yang berada pada gardu induk dan peralatan (beban) akan mengalami kerusakan karena kenaikan tegangan lebih telah melewati tingkat isolasi dasar atau BIL (*Basic Insulation level*) yang telah ditetapkan. Sehingga pada saat terjadinya tegangan lebih diperlukan sistem proteksi agar kenaikan tegangan yang sampai pada gardu induk dan peralatan (beban) tidak melewati tingkat isolasi dasar atau BIL (*Basic Insulation level*) pada peralatan gardu tersebut.



Gambar 2.7 Tegangan surja akibat sambaran petir

Salah satu usaha untuk mencegah petir menyambar langsung dikawat fasa dengan dipasangnya kawat tanah dengan memosisikannya diatas kawat fasa. Ketika kawat tanah tidak dapat menangkap sambaran petir dan mengenai langsung kawat fasa dalam kasus ini biasa disebut kegagalan perisaian (*shielding failure*). Serta digunakannya sistem proteksi yaitu arester dalam melindungi kenaikan tegangan yang merambat dengan cara memotong kenaikan tegangan lebih tersebut.

2.5 Lightning Arrester (LA)

Ligthing Arrester / LA yang biasa di sebut Arrester , di Gardu Induk berfungsi sebagai pengaman instalasi (peralatan listrik pada instalasi) dari

gangguan tegangan lebih akibat sambaran petir (lightning Surge) maupun oleh surja hubung (Switching Surge).

Sambaran petir pada konduktor hantaran udara merupakan suntikan muatan listrik. Suntikan muatan ini menimbulkan kenaikan tegangan pada jaringan, sehingga pada jaringan timbul kenaikan tegangan atau tegangan lebih yang berbentuk gelombang impulse dan merambat sepanjang penghantar.²

Jika tegangan lebih akibat surja petir atau surja pemutusan tiba di gardu induk, maka tegangan lebih tersebut akan merusak isolasi peralatan gardu induk. Oleh sebab itu perlu suatu alat yang melindungi peralatan sebab tegangan lebih akibat sambaran petir dan atau surja pemutusan akan merusak isolasi peralatan. Pelindung ini dalam keadaan normal bersifat isolasi dan jika terjadi tegangan lebih akan berubah menjadi penghantar dan mengalirkan muatan surja tersebut ke tanah. Sistem pentanahan harus dipisahkan dari pentanahan untuk pentanahan dari pengamanan petir atau swtching.²

Jadi pada keadaan normal, Lightning Arrester adalah sebagai alat proteksi bagi peralatan listrik terhadap tegangan lebih, yang disebabkan oleh petir atau surja hubung. Alat ini bersifat sebagai bay-pass (jalan pintas) disekitar isolasi yang membentuk jalan dan mudah dilalui arus kilat ke sistem pentanahan sehingga tidak menimbulkan tegangan lebih yang tinggi dan tidak merusak isolasi peralatan listrik.

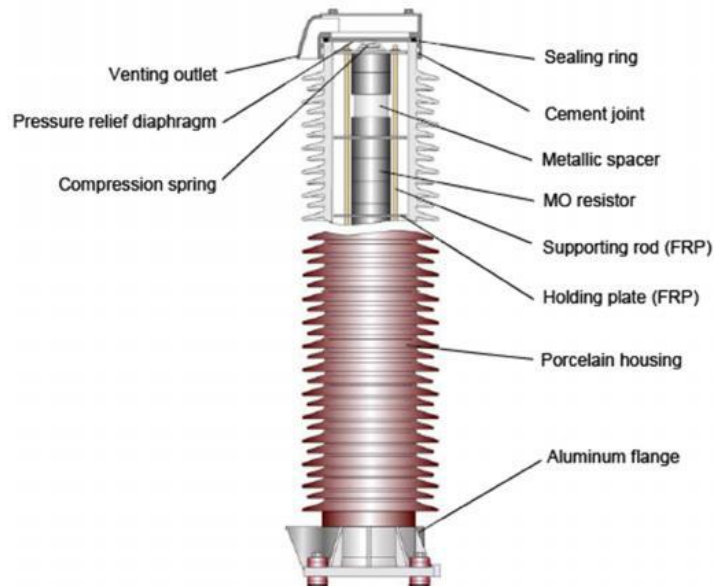
2.5.1 Konstruksi Lightning Arrester⁵

LA di saluran transmisi ataupun di gardu induk, memiliki konstruksi yang hampir serupa. Komponen utama dari LA adalah varistor/ komponen aktif yang terbuat dari Zinc Oxide. Varistor ini berbentuk keping blok, tersusun di dalam *housing*/ kompartemen yang terbuat dari porselen ataupun polymer. Selain

² Pusklat PT.PLN (Persero).2012.*Peralatan Gardu Induk*. Hal 9-10.

⁵ PT PLN (Persero).2014. *Buku Pedoman Pemeliharaan Primer Gardu Induk* No. 0520-2. Hal 4

sebagai penyangga, housing ini juga berfungsi untuk menginsulasi antara bagian bertegangan dan tanah pada tegangan operasi LA.



Gambar 2.8 Konstruksi Lightning Arrester

LA juga dilengkapi dengan katup *pressure relief* di kedua ujungnya. Katup ini berfungsi untuk melepas tekanan internal yang berlebih, pada saat LA dilalui arus surja. Konstruksi lain pendukung LA terdiri dari: struktur penyangga, grading ring, pentanahan dan alat monitoring. Untuk penjelasan lebih lanjut, dapat dilihat dibawah ini :

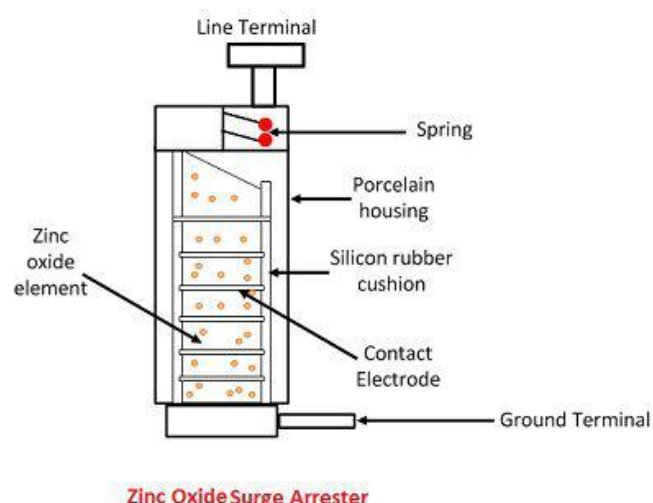
a. Varistor/ Active Part

Active Part terdiri dari kolom varistor Zinc Oxide (ZnO). Keping Zinc Oxide dicetak dalam bentuk silinder yang besaran diameter keping tergantung pada kemampuan absorpsi energi dan nilai discharge arus. Material silinder terbuat dari aluminium. Silinder ini selain memiliki kemampuan mekanis, juga berfungsi sebagai pendingin. Diameter keping bervariasi dari 30 mm untuk arrester kelas distribusi hingga 100 mm untuk arrester HV/EHV. Setiap keping blok memiliki tinggi bervariasi dari 20 hingga 45 mm.



Gambar 2.9 Keping Blok Varistor Zinc Oxide

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 voltagenya 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 (*stacked*).

Gambar 2.10 Arrester jenis Zinc Oxide (ZnO)
(Sumber : circuitglobe.com)

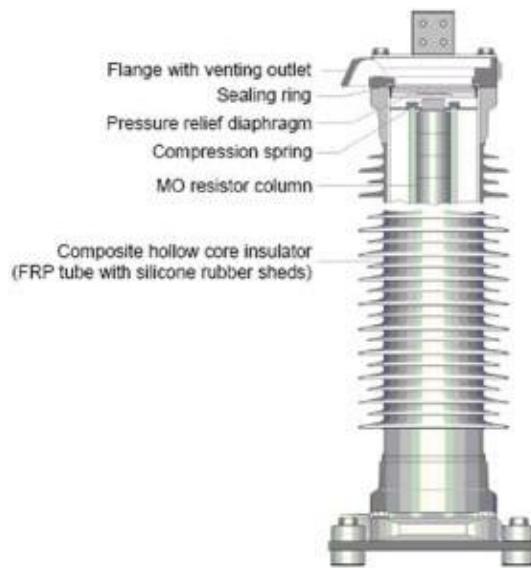
Jadi, fungsi dari keping Zinc Oxide (ZnO) yang terdapat pada Arrester ini sendiri yaitu sebagai bahan penahan dari tegangan lebih. Drop Tegangan terjadi pada batasan partikel ZnO. Ada batasan potensial pada setiap partikel ZnO dan pembatas potensial ini mengontrol aliran arus dari satu partikel ke partikel lainnya.

Pada tegangan normal, pembatas potensial tidak memungkinkan arus mengalir melaluinya. Pada tegangan berlebih, pembatas akan jatuh dan peralihan arus yang tajam dari proses isolasi ke konduksi terjadi. Arus mulai mengalir dan lonjakan tegangan dialihkan ke tanah. Setelah terjadi lonjakan tegangan, tegangan akan melintasi pengalih turunan, dan arus dikurangi menjadi nilai yang dapat diabaikan oleh resistor sehingga tidak ada aliran arus.

b. Housing LA

Tumpukan keping ZnO ditaruh dalam sangkar rod, umumnya terbuat dari FRP (*Fiber Glass Reinforced Plastic*). *Compression spring* dipasang pada kedua ujung kolom *active part* untuk memastikan susunan keping memiliki ketahanan mekanis. Kompartemen *housing* terbuat dari porselen ataupun *polymer*. *Aluminium flange* direkatkan pada kedua ujung *housing* dengan menggunakan semen.

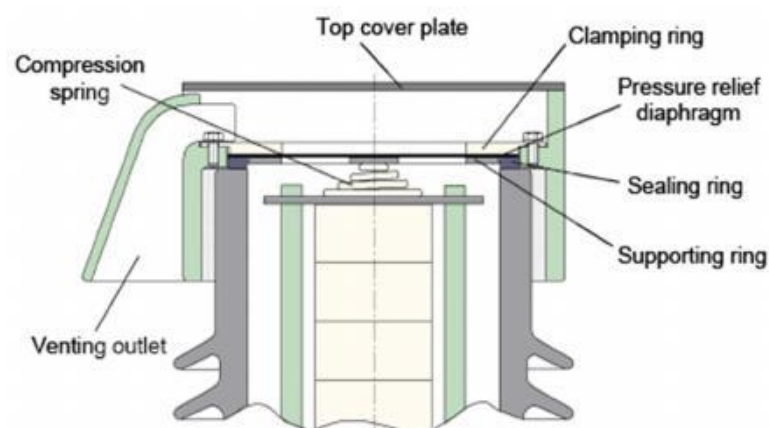
Housing LA sebagai tempat perlindungan bagi varistor active/kepingan ZnO. Sehingga kepingan ZnO dapat berfungsi dengan baik.



Gambar 2.11 Konstruksi Housing LA

c. Sealing dan Pressure Relief Systems

Sealing ring dan *pressure relief diaphragm* dipasang di kedua ujung arrester. *Sealing ring* terbuat dari material sintetis sementara *pressure relief diaphragm* terbuat dari steel/nikel dengan kualitas tinggi. Pressure relief bekerja sebagai katup pelepasan tekanan internal pada saat LA mengalirkan arus lebih surja.



Gambar 2.12 Sealing dan Pressure Relief Systems LA

d. Grading Ring

Grading ring diperlukan pada LA dengan ketinggian lebih dari 1,5 meter atau pada LA yang dipasang bertingkat. Grading ring berfungsi sebagai kontrol distribusi medan listrik sepanjang permukaan LA. Medan listrik pada bagian yang dekat dengan tegangan akan lebih tinggi, sehingga stress pada active part di posisi tersebut jauh lebih tinggi dibandingkan pada posisi di bawahnya. Stress ini dapat menyebabkan degradasi pada komponen active part. Pemilihan ukuran grading ring perlu mempertimbangkan jarak antar fasa. Jarak aman antar konduktor harus sama dengan jarak antar grading ring antar fasa dari arrester.



Gambar 2.13 Grading Ring Lightning Arrester

Jadi fungsi dari cincin perisai (Grading Ring) pada Lightning Arrester yaitu untuk meratakan (mendistribusi) medan listrik dan distribusi tegangan yang terjadi pada isolator.

e. Peralatan Monitoring dan Insulator Dudukan

LA dilengkapi dengan peralatan monitoring, yakni *counter* jumlah kerja LA dan/atau meter arus bocor total. Sebelum diketanahkan, kawat pentanahan dilewatkan dahulu pada peralatan monitoring. Oleh karenanya, insulator dudukan perlu dipasang baik pada kedua ujung peralatan monitor, maupun pada dudukan LA, agar arus yang melalui LA hanya melewati kawat pentanahan.



Gambar 2.14 Counter LA dan Counter dan Meter Arus Bocor Total LA



Gambar 2.15 Insulator Dudukan Lightning Arrester

f. Struktur Penyangga Lightning Arrester

LA dipasang pada ketinggian tertentu dari permukaan tanah, untuk itu diperlukan struktur penyangga yang terdiri dari pondasi dan struktur besi penyangga.



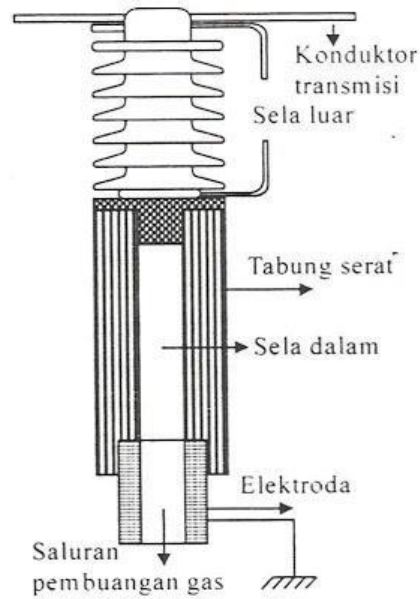
Gambar 2.16 Struktur Penyangga Lightning Arrester

2.5.2 Jenis-Jenis Lightning Arrester⁶

a. Arrester jenis ekspulsi atau tabung pelindung

Digunakan pada sistem tenaga listrik bertegangan hingga 33 kV. Konstruksinya diperlihatkan pada gambar 2.17. *Arrester* ini mempunyai dua sela yang terhubung seri, yaitu sela luar dan sela dalam. Sela dalam ditempatkan di dalam tabung serat (Fiber), elektroda sela dalam yang dibumikan dibuat berbentuk pipa. Keberadaan dua pasang elektroda ini membuat *arrester* memikul tegangan tinggi frekuensi daya tanpa menimbulkan korona dan arus bocor ke tanah. Tegangan tembus sela luar dibuat lebih rendah daripada tegangan lompatan api isolator pendukung sela luar.

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

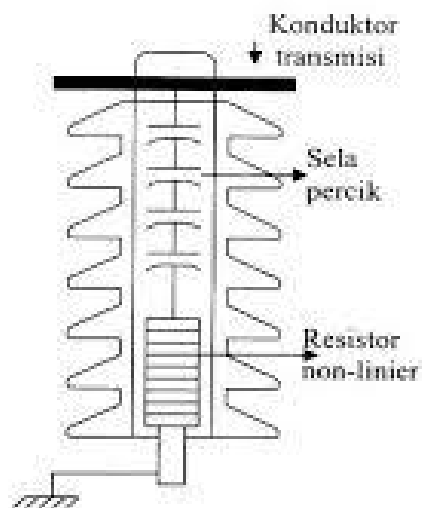


Gambar 2.17 Arrester jenis ekspulsi (*expulsion type*)
(Sumber: Mukhalidillah.blogspot.com)

b. Arrester jenis katup

Berdasarkan sela perciknya, *arrester* katup terdiri dari:

- *Arrester* Katup Sela Pasif



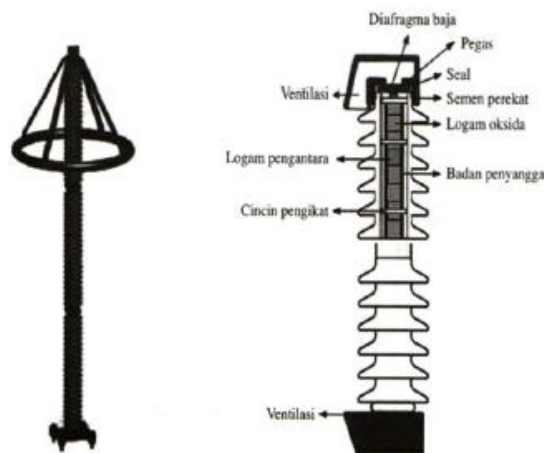
Gambar 2.18 Arrester Jenis Katup (*valve type*)
(Sumber : repository.umy.ac.id)

Arrester sela pasif digunakan pada jaringan distribusi hantaran udara. *Arrester* ini terdiri dari sela percik, resistor nonlinier dan isolator tabung. Sela percik terdiri dari beberapa susunan elektroda plat – plat terhubung seri. Sela percik dan resistor nonlinier keduanya ditempatkan didalam tabung isolasi tertutup, sehingga kerja *arrester* ini tidak dipengaruhi oleh keadaan udara sekitar. Resistor non-linier terbuat dari beberapa silikon 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.

➤ 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.

➤ Arrester Katup Tanpa Sela Percik



Gambar 2.19 Konstruksi arrester logam oksida

Arrester tanpa sela digunakan untuk semua tingkat tegangan. Konstruksi arrester jenis tanpa katup diperlihatkan pada gambar 2.19. 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.

2.5.3 Prinsip Kerja Lightning Arrester

Pada saat peristiwa surja, *travelling wave*/gelombang berjalan merambat di penghantar sistem transmisi dengan kecepatan mendekati kecepatan cahaya. Surja dengan panjang gelombang dalam orde mikro detik ini berbahaya bila nilai tegangan surja yang tiba di peralatan lebih tinggi dari level BIL (*Basic Insulation Level*) peralatan. Untuk itu, LA dipasang untuk memotong tegangan surja dengan cara mengalirkan arus surja ke tanah dalam orde sangat singkat, dimana pengaruh *follow current* tidak ikut serta diketanahkan.⁵

Arrester melindungi peralatan dari tegangan lebih dan membatasi surja yang timbul dan mengalirkannya ke tanah. Arrester dipasang antara terminal penghantar dengan tanah. Jika arus discharge yang datang mencapai arrester dan tegangan discharge mencapai puncak maka akan terjadi loncatan api antar gap.⁷

Arrester kemudian memberikan suatu impedansi yang rendah untuk mengalirkan ke tanah, hal ini perlu agar isolasi peralatan menjadi aman. Arrester yang baik memiliki karakteristik sebagai berikut⁷ :

- Pada tegangan sistem yang normal arrester tidak boleh bekerja. Tegangan tembus arrester pada frekuensi jala-jala harus lebih tinggi dari tegangan lebih sempurna yang mungkin terjadi pada sistem.

⁵ PT PLN (Persero).2014. *Buku Pedoman Pemeliharaan Primer Gardu Induk* No. 0520-2. Hal 2

⁷ Deni Andriawan. 2014. *Kinerja Arrester Yang Sudah Berusia Lebih Dari 10 Tahun di Gardu Induk 150 KV Ungaran*. Hal. 2

- Setiap gelombang transient dengan tegangan puncak yang lebih tinggi dari tegangan tembus arrester harus mampu mengerjakan arrester untuk mengalirkan arus ke tanah.
- Arrester harus mampu melakukan arus terpa ke tanah tanpa merusak arrester itu sendiri dan tanpa menyebabkan tegangan pada terminal arrester lebih tinggi dari tegangan sumbernya sendiri.
- Arus sistem tidak boleh mengalir ke tanah setelah gangguan diatasi (follow current). Follow current harus dipotong begitu gangguan telah berlalu dan tegangan kembali normal.
- Arus bocor yang dibumikan pada tegangan normal tidak melebihi ketetapan operasional yang diijinkan.

Jadi, saat terjadi lonjakan arus listrik pada suatu instalasi listrik yang sudah terpasang pada Arrester, maka pengaman arus lebih akan bekerja memutuskan arus listrik langsung dari sumber utama. Sehingga lonjakan tegangan listrik yang terjadi tidak sampai mengalir ke berbagai peralatan listrik karena arrester terlebih dahulu mendeteksinya dan mengalirkannya ke bumi.



Gambar 2.20 Lightning Arrester pada Gardu Induk.

(Sumber : electrobuzzzz.blogspot.com)

2.6 Pemeliharaan⁵

Pemeliharaan adalah suatu usaha / kegiatan terpadu yang dilakukan terhadap instalasi dan sarana pendukungnya untuk mencegah kerusakan atau mengembalikan / memulihkan instalasi dan sarana kepada keadaan yang layak, sehingga kontinuitas penyaluran tenaga listrik dapat terjamin. Salah satu jenis Pemeliharaan yang dilakukan berupa inspeksi pengetesan peralatan secara terencana untuk mengetahui kelayakan suatu peralatan disebut dengan Pemeliharaan predictive. Berikut inspeksi yang ada pada 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).

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.

⁵ PT PLN (Persero).2014. *Buku Pedoman Pemeliharaan Primer Gardu Induk* No. 0520-2. Hal 10

2.7 Pengukuran Arus Bocor Resistif (LCM)⁵

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. Berikut adalah tabel pengujian LCM pada Lightning Arrester :

Tabel 2.1 Tabel Pengujian LCM

Fasa	Kondisi Pengukuran 1			Kondisi Pengukuran 2		
	Arus (Res) Uncorr (μ A)	Arus (Res) Corr (μ A)	Arus total (μ A)	Arus (Res) Uncorr (μ A)	Arus (Res) Corr (μ A)	Arus total (μ A)
R						
S						
T						
Fasa	Kondisi Pengukuran 3			Kondisi Pengukuran 4		
	Arus (Res) Uncorr (μ A)	Arus (Res) Corr (μ A)	Arus total (μ A)	Arus (Res) Uncorr (μ A)	Arus (Res) Corr (μ A)	Arus total (μ A)
R						
S						
T						

⁵ PT PLN (Persero).2014. *Buku Pedoman Pemeliharaan Lightning Arrester* No. 0520-2

Keterangan :

- 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 resistif uncorrective yang terukur selama pengujian. Pengujian dilakukan selama 20 detik.

2.8 Rekomendasi Hasil Pengujian

Dalam pengukuran arus bocor (Leakage Current Measurement) terdapat Batasan arus bocor yang telah ditetapkan pada SK DIR No.0520 Tahun 2014. Nilai arus bocor maksimum yang ditetapkan berbeda-beda pada setiap tegangan yang beroperasi pada suatu Lightning Arrester. Berikut adalah batasan nilai arus resistif maksimum pada pengujian LCM⁵ :

kV	Ires, max
	(μ A)
70	100
150	150
500	250

Gambar 2.21 Batasan Nilai Arus Bocor Maksimum

Setelah dilakukan pengujian, maka perlu menentukan tindakan lanjut atau rekomendasi dari hasil pengujian. Yaitu dengan menghitung nilai Persentase (%) dari Arus Bocor Maksimum untuk mengetahui tindakan lanjut yang akan

⁵ PT PLN (Persero).2014. *Buku Pedoman Pemeliharaan Lightning Arrester* No. 0520-2. Hal.33



dilakukan pada Lightning Arrester yang sedang diuji. Perhitungan persentase (%) menggunakan rumus sebagai berikut :

$$\text{Persentase (\%) Ires Max} = \frac{\overline{X} \text{ Ires Corr}}{\text{Ires max}} \times 100\% \dots\dots(2.1)$$

Setelah dilakukan perhitungan, dilakukan perbandingan dengan standar arus bocor maksimum. Dilakukan perbaikan apabila melebihi dari nilai standar yang ditentukan. Berikut tabel rekomendasi tindakan dari hasil pengukuran LCM.⁵

Tabel 2.2 Rekomendasi Hasil Uji LCM

% dari Ires Max	Tindakan
≤90%	Melakukan Pengukuran LCM Tahunan
91% - 99%	Melakukan Pengukuran LCM 6 bulan kemudian
≥100%	Penggantian LA

⁵ PT PLN (Persero).2014. *Buku Pedoman Pemeliharaan Lightning Arrester* No. 0520-2. Hal.33