

# **BAB I**

## **PENDAHULUAN**

### **1.1. Latar Belakang**

Perkembangan energi listrik di Indonesia baik dalam bidang konsumsi maupun dalam bidang produksinya semakin meningkat dari tahun ketahun. Perkembangan yang pesat ini haruslah diikuti dengan perbaikan dalam bidang mutu energi listrik yang dihasilkan. Dimana energi listrik yang dihasilkan harus berkualitas dan memiliki kehandalan yang tinggi, baik dari segi teknis, dari segi teknis tersebut yang menjadi parameter kebaikan energi listrik yaitu tegangan, frekuensi dan kehandalan. Adanya gangguan yang terjadi pada sistem akan mengakibatkan turunnya kesinanggungan penyaluran energi listrik.

Gangguan yang terjadi pada penyaluran energi listrik diakibatkan bila terjadi sambaran pada kawat penghantar di saluran transmisi yang menyebabkan gelombang surja petir merambat menuju peralatan di gardu induk, di mana besar ketajamannya dapat menggagalkan isolasi peralatan. Sambaran surja petir dapat mengakibatkan timbulnya gelombang berjalan. gelombang menyebabkan terjadinya tegangan lebih (over voltage), pengaruh gelombang berjalan akan menimbulkan tegangan yang lebih tinggi di tempat-tempat yang agak jauh dari arrester.

Dengan demikian, pada sebuah gardu induk sangat diperlukan perlindungan terhadap gangguan surja petir. Untuk itu membuat jalan yang mudah dilalui oleh surja petir maka harus dipasang sebuah alat yang disebut arrester. Arrester petir disingkat arester atau sering disebut penangkap petir, adalah alat pelindung bagi peralatan sistem tenaga listrik terhadap surja petir, sebagai jalan pintas (by-pass) sekitar isolasi. Arrester membentuk jalan yang mudah dilalui oleh arus kilat atau petir, sehingga tidak timbul tegangan lebih yang tinggi pada peralatan. Jalan pintas itu harus sedemikian rupa sehingga tidak mengganggu aliran arus daya sistem 50 Hz dan pada kerja normal arrester itu berlaku sebagai isolator dan apabila timbul surja maka dia berlaku sebagai konduktor, yang dapat melewatkan aliran arus yang tinggi. Setelah surja hilang, arester harus dengan cepat kembali menjadi isolator, sehingga pemutus daya tidak sempat membuka. Arrester modern dapat membatasi harga tegangan surja di bawah tingkat isolasi peralatan. Peralatan dapat dilindungi dengan menempatkan arrester sedekat mungkin pada 4 peralatan tersebut dan tidak perlu menggunakan alat pelindung pada tiap bagian peralatan yang akan

dilindungi. Walaupun pengaruh gelombang berjalan akan menimbulkan tegangan yang lebih tinggi di tempat yang agak jauh dari arrester, peralatan masih dapat dilindungi dengan baik bila jarak arrester dan peralatan masih dalam batas yang diizinkan. Arrester di tempatkan sedekat mungkin dengan peralatan yang dilindungi.

Tetapi untuk memperoleh kawasan perlindungan yang lebih baik, maka ada kalanya arrester di tempatkan dengan jarak tertentu dari peralatan transformator (trafo) yang dilindungi. Jarak arrester dengan trafo yang dilindungi berpengaruh terhadap besarnya tegangan yang tiba pada trafo. Jika jarak arrester terlalu jauh, maka tegangan yang tiba pada trafo dapat melebihi tegangan yang dapat dipikulnya. Untuk menentukan jarak maksimum yang diizinkan antara arrester dan peralatan yang dilindungi dikenal beberapa metode. Salah satu metodenya adalah metode pantulan berulang. Metode ini adalah metode pendekatan yang dapat digunakan untuk menentukan jarak maksimum arrester dan peralatan, dan juga untuk menentukan panjang maksimum dari kabel penghubung peralatan dengan saluran transmisi. Gardu Induk Tanjung Morawa 150 KV, dimana disitu terdapat peralatan trafo dan arrester yang penempatannya mempunyai jarak tertentu. Oleh karena itu, dari uraian di atas maka penelitian tentang arrester akan disusun dalam sebuah skripsi dengan judul “STUDI PENENTUAN LETAK ARRESTER SEBAGAI PENGAMAN TRANSFORMATOR 60MVA PADA GARDU INDUK TAMORA 150 KV”.

## **1.2 Perumusan Masalah**

Berdasarkan dari penjelasan latar belakang diatas maka permasalahan dalam penelitian ini adalah mencari tau jenis dan rating arrester yang di gunakan pada transformator 60 MVA , berapa jarak optimum arester dengan trafo saat terjadi tegangan berlebih dan analisis kemampuan arrester dalam melindungi peralatan trafo terhadap arus lebih akibat surja petir ataupun surja hubung.

## **1.3 Batasan Masalah**

Dari identifikasi permasalahan yang ada dan untuk memperoleh gambaran yang jelas tentang ruang lingkup penelitian dan kedalaman pembahasan, maka penelitian ini akan membatasi masalah pada analisis kemampuan arrester berdasarkan pada penempatan jarak arrester dengan trafo sebagai alat pelindung terhadap gangguan surja petir atau switching pada Gardu Induk Tanjung Morawa 150 KV.

#### **1.4 Tujuan Penulisan**

Tujuan dari penelitian ini adalah diharapkan dapat digunakan sebagai referensi penghitungan secara matematis dalam menentukan jarak arrester dengan peralatan yang dilindungi dalam hal ini adalah trafo.

#### **1.5 Metodologi Penulisan**

Untuk menyelesaikan Tugas Akhir ini maka penulis menjalankan beberapa tahapan antara lain:

1. Studi Literatur yaitu dengan membaca teori-teori yang berkaitan dengan topik tugas akhir ini yang diperoleh dari buku-buku referensi baik yang dimiliki oleh penulis atau di perpustakaan serta juga internet dan lain-lain.
2. Studi bimbingan yaitu diskusi, berupa tanya jawab dengan Dosen pembimbing yang telah ditunjuk oleh pihak jurusan Teknik Elektro Universitas HKBP Nommensen Medan.
3. Melakukan Penelitian Alat Arrester pada Gardu Induk TAMORA dan Mengambil data alat Arrester yang di gunakan pada pengaman Transformator.

#### **1.6 Sistematika Penulisan**

### **BAB I PENDAHULUAN**

Menjelaskan tentang latar belakang, permasalahan, batasan permasalahan, tujuan penulisan, manfaat penulisan dan sistematika penulisan.

### **BAB II LANDASAN TEORI**

Menjelaskan tentang arester, pembangkitan tegangan impuls, gardu induk dan hasil-hasil penelitian yang berhubungan dengan masalah di atas.

### **BAB III METODE PENELITIAN**

Menjelaskan tentang metode penelitian, bahan dan alat penelitian, rangkaian pengujian arrester, pembagi tegangan, lokasi dan waktu penelitian, dan jalannya penelitian.

#### **BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN**

Menjelaskan tentang data penelitian dan Pembahasan hasil penelitian.

#### **BAB V PENUTUP**

Menjelaskan tentang simpulan dan saran.

## **BAB II**

### **LANDASAN TEORI**

#### **2.1 Umum**

Pusat pembangkit listrik umumnya di hubungkan dengan saluran transmisi udara yang menyalurkan tenaga listrik dari pusat pembangkit ke pusat pusat konsumsi tenaga listrik, yaitu gardu gardu induk (GI) . Sedangkan saluran transmisi udara ini rawan sekali terhadap sambaran petir yang menghasilkan gelombang berjalan ( surja tegangan ) yang dapat masuk ke Gardu induk. Oleh karena itu, setiap gardu induk harus ada lightning arrester. Selain itu lightning arrester harus berada di depan setiap transformator dan harus terletak sedekat mungkin dengan transformator. Hal ini perlu karena pada petir yang merupakan gelombang berjalan menuju transformator aka melihat transformator sebagai ujung terbuka ( karena transformator mempunyai isolasi terhadap bumi / tanah) sebagai gelombang pantulannya akan saling memperkuat dengan gelombang yang datang. Berarti transformator dapat mengalami tegangan surja dua kali besarnya tegangan gelombang surja yang datang. Untuk mencegah terjadinya hal ini, lightning arrester harus dipasang sedekat mungkin dengan transformator.

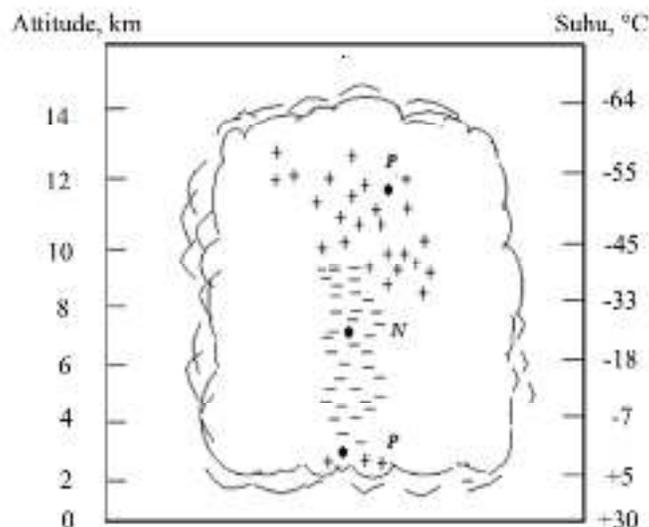
Dari Uraian diatas lightning arrester diciptakan untuk mengatasi gangguan yang berasal dari sambaran petir.

## 2.2 Peristiwa petir

Petir merupakan suatu peristiwa peluahan muatan listrik di atmosfer. Pada suatu keadaan tertentu dalam lapisan atmosfer bumi terdapat gerakan angin ke atas (updraft) membawa udara lembab. Semakin tinggi dari permukaan bumi, semakin rendah tekanan suhunya. Uap air mengkondensasi menjadi titik air dan membentuk awan.

Angin keras dengan kecepatan 30000 – 40000 kaki yang bertiup ke atas membawa awan lebih tinggi. Pada ketinggian lebih dari 5 km, partikel uap air dan partikel aerosol yang ada di awan akan membeku menjadi kristal – kristal es dan kemudian turun lagi karena adanya gravitasi bumi. Karena air mengalami pergerakan acak vertikal dan horizontal, maka terjadilah pemisahan muatan listrik. Tetesan air yang berada di bagian atas awan biasanya bermuatan positif dan di bagian bawah bermuatan negatif.

Akibat adanya awan yang bermuatan akan timbul muatan induksi pada permukaan bumi, hingga timbul medan listrik. Mengingat dimensinya, bumi dianggap rata terhadap awan, maka permukaan bumi dan awan dapat dianggap sebagai dua keping plat kondensator. Dengan demikian terjadi akumulasi muatan di awan yang polaritasnya berbeda dengan permukaan bumi. Jika medan listrik yang terjadi melebihi medan tembus udara, maka akan terjadi pelepasan muatan. Pada saat itulah terjadinya petir awan ke tanah.



Gambar 2.1 .Persebaran muatan positif dan negatif di dalam awan

### **2.3 Tahapan Perambatan Petir**

Petir awan ke tanah merupakan tembus listrik transien yang berlangsung dalam selang waktu ratusan mikrodetik dan merambat sepanjang beberapa kilometer dari awan ke permukaan bumi. Petir awan ke tanah berawal dari daerah sela antara daerah bermuatan positif P di dasar awan dan daerah bermuatan negatif N di atasnya. Elektron daerah N awan bergerak ke bawah menetralkan muatan positif di daerah P awan. Proses ini dikenal dengan proses peluahan awal. Selanjutnya elektron merambat menuju permukaan bumi dan menimbulkan lidah petir. Lidah petir yang pertama disebut pelopor awal. Arah langkah lidah petir berubah-ubah, sehingga rambatan petir tidak lurus dan patah-patah. Pelopor akan terus merambat selama pusat muatan di awan mampu memberikan muatan ke ujung pelopor melebihi kuat medan udara.

Seluruh kejadian peluahan petir disebut kilat. Dan dapat terjadi selama 0,5 hingga 1 detik. Satu kilat terdiri dari beberapa peluahan, di antaranya 3 atau 4 pulsa arus tinggi yang disebut sambaran. Pada petir di dalam awan, yang merupakan peluahan yang terjadi di dalam satu awan (awan cumulonimbus), tanpa kontak langsung dengan permukaan bumi. Peluahan petir jenis ini merambat antara daerah N bermuatan negatif dengan daerah P bermuatan positif di atasnya. Tipe peluahan petir yang lainnya adalah petir awan ke awan. Petir awan ke awan terjadi antara dua awan cumulonimbus yang berbeda muatan.

### **2.4 Efek Sambaran Petir**

#### **2.4.1 Sambaran Tidak Langsung**

Muatan induksi yang muncul pada jaringan yang disebabkan oleh sambaran petir ke bumi dan oleh sambaran petir dari awan ke awan. Pada umumnya lompatan api yang ditimbulkan tidak terlalu besar, sehingga bukan merupakan masalah yang serius

#### **2.4.2 Sambaran Langsung**

Sambaran petir dari awan langsung ke jaringan yang menyebabkan tegangan naik dengan cepat pada daerah sambaran. Daerah yang terkena sambaran dapat terjadi pada daerah tower, kawat petir dan kawat pengantar.

## **2.5 Lightning Arrester**

### **2.5.1 Pengertian dan Fungsi :**

Arrester atau biasa juga lightning arrester adalah suatu alat pelindung bagi peralatan sistem tenaga listrik terhadap surja petir (surge). Alat pelindung terhadap gangguan surja ini berfungsi melindungi peralatan system tenaga listrik dengan cara membatasi surja tegangan lebih yang datang dan mengalirkannya ke tanah.

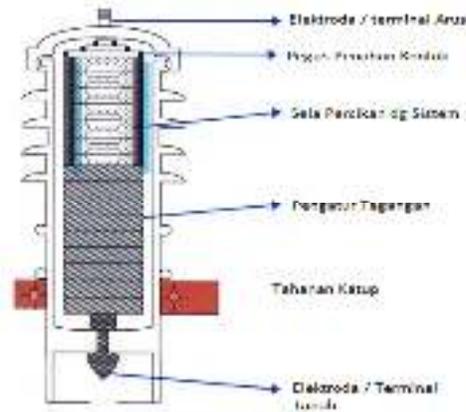
Sesuai dengan fungsi itu maka arrester harus dapat menahan tegangan system pada frekuensi 50 hz untuk waktu yang terbatas dan harus dapat melewatkan surja arus ke tanah tanpa mengalami kerusakan pada arrester itu sendiri.

Arrester berlaku sebagai jalan pintas di sekitar isolasi. Arrester membentuk jalan yang mudah untuk dilalui oleh arus kilat atau petir, sehingga tidak timbul tegangan lebih yang nilainya tinggi pada peralatan. Selain melindungi peralatan dari tegangan lebih yang diakibatkan oleh tegangan lebih eksternal, arrester juga melindungi peralatan dari tegangan lebih yang diakibatkan oleh tegangan lebih internal seperti surja hubung. Selain itu arrester juga merupakan kunci dalam koordinasi isolasi suatu sistem tenaga listrik.

Bila surja hubung datang ke gardu induk maka arrester akan bekerja melepaskan muatan listrik serta mengurangi tegangan abnormal yang mengenai peralatan dalam gardu induk. Lightning arrester bekerja pada tegangan tertentu di atas tegangan operasi untuk membuang muatan listrik dari surja petir dan berhenti beroperasi pada tegangan tertentu di atas tegangan operasi agar tidak terjadi arus pada tegangan operasi dan perbandingan dua tegangan ini disebut rasio proteksi arrester .

Tingkat isolasi bahan arrester harus berada dibawah tingkat isolasi bahan transformator agar apabila sampai terjadi flashover, maka flashover diharapkan terjadi pada arrester dan tidak pada transformator.

Bagian-bagian arrester



Gambar 2.2 Penampang Arrester

Beberapa bagian penting dari sebuah arrester yaitu:

1. Elektroda

Elektroda-elektroda adalah terminal dari arrester yang dihubungkan dengan bagian yang bertegangan di bagian atas, dan elektroda bawah dihubungkan dengan tanah.

2. Sela Percikan

Apabila terjadi tegangan lebih yang diakibatkan oleh sambaran petir atau surja hubung pada arrester yang terpasang, maka pada sela percikan (spark gap) akan terjadi loncatan busur api dan ditiup keluar oleh tekanan gas yang di timbulkan oleh tabung fiber yang terbakar.

3. Tahanan Katup

Tahanan yang digunakan dalam arrester ini adalah suatu jenis material yang sifat tahanannya dapat berubah apabila mendapatkan perubahan tegangan.

**2.6 Prinsip Kerja Arrester**

Pada umumnya prinsip kerja Arrester cukup sederhana yaitu membentuk jalan yang mudah dialalui oleh petir, sehingga tidak timbul tegangan lebih tinggi pada peralatan listrik lainnya. Pada kondisi kerja yang normal, arester berlaku sebagai isolasi tetapi bila timbul surja akibat adanya petir maka arester akan berlaku sebagai konduktor yang berfungsi melewatkan

aliran arus yang tinggi ke tanah. Setelah tegangan surja itu hilang maka arrester harus dengan cepat kembali menjadi isolator sehingga PMT tidak sempat membuka. Pada kondisi yang normal ( tidak terkena petir) , arus bocor arrester tidak boleh melebihi 2 mA. Apabila melebihi angka tersebut, berarti kemungkinan besar arrester mengalami kerusakan. Pada pokoknya arrester terdiri dari 2 unsur :

1. Sela api (spark gap)
2. Tahanan tak linear

### **2.6.1 Tahanan Tak Linier**

Batas atas dan batas bawah dari tegangan percikan ditentukan oleh tegangan sistem maksimum dan oleh tingkat isolasi peralatan yang dilindungi. Apabila arrester digunakan hanya melindungi isolasi terhadap bahaya kerusakan karena gangguan dengan tidak memperdulikan akibatnya terhadap pelayanan, maka cukup dipakai sela batang yang memungkinkan terjadinya percikan pada waktu tegangannya mencapai keadaan bahaya. Tegangan sistem bolak-balik akan tetap mempertahankan busbar api sampai pemutus bebannya dibuka. Dengan menyambung sela api ini dengan sebuah tahanan, maka mungkin apinya dapat dipadamkan. Jika tahanannya mempunyai sebuah harga tetap, maka jatuh tegangannya menjadi besar sekali sehingga maksud melindungi isolasi pun gagal. Oleh sebab itu, dipakailah tahanan kran, yang mempunyai sifat khusus bahwa tahanannya kecil sekali bila tegangannya dan arusnya besar.

Bila tegangan lebih habis dan tegangan normal tinggal, tahanannya naik lagi sehingga arus susulannya dibatasi sampai kira-kira 50 ampere. Arus susulan ini akhirnya dimatikan oleh sela api pada waktu tegangan sistemnya mencapai titik nol yang pertama sehingga alat ini bertindak sebagai sebuah kran yang menutup arus, oleh karena itu, maka disebut tahanan kran.

Arus susulan tidak selalu terjadi tiap kali arrester bekerja, ada tidaknya tergantung dari saat terjadinya tegangan lebih, hal ini disebabkan karena arus susulan tersebut dipadamkan pada arus nol yang pertama.

### **2.7 Pemilihan Tingkat Isolasi Dasar (BIL)**

BIL ini menyatakan tingkat isolasi terhadap petir. Agar pemakaian arrester dalam koordinasi isolasi dapat memberikan hasil yang maksimal perlu berpedoman pada asas-asas. Dan

salah satu asasnya adalah. Daerah perlindungan harus mempunyai jangkauan yang cukup untuk melindungi semua peralatan gardu induk yang mempunyai BIL (Basic Insulation Level) atau lebih tinggi dari daerah perlindungan.

Untuk menghitung dari margin perlindungan dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut:

$$IM = (BIL/ KIA - 1) \times 100\%$$

Keterangan:

IM = Impuls Margin (%)

KIA = Tegangan pelepasan maksimum arrester (kV)

BIL = Tingkat isolasi dasar (kV)

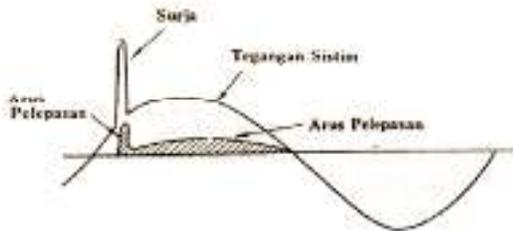
Berdasarkan rumus diatas ditentukan tingkat perlindungan untuk trafo daya. Kriteria yang berlaku untuk  $MP > 20\%$  dianggap cukup untuk melindungi transformator.

## 2.8 Kegunaan Arrester

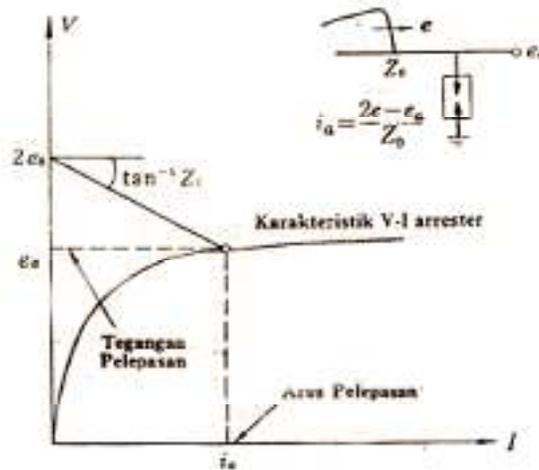
Arrester merupakan kunci dalam koordinasi isolasi suatu sistem tenaga listrik. Bila surja (surge) datang ke G.I, arrester bekerja melepaskan muatan listrik (discharge). serta mengurangi tenaga abnormal yang akan mengenai peralatan dalam G.I. Itu. setelah surja ( petir atau hubung ) dilepaskan melalui arrester, arus masih mengalir karena adanya tegangan system ; arus ini disebut arus dinamika atau arus susulan (follow current); seperti gambar 2.3. Arrester harus mempunyai ketahanan termis yang cukup terhadap enersi dari arus susulan ini, dan harus mampu memutuskannya. Jika pada waktu arrester melepas, tegangan sistem dan arus dinamika terlalu tinggi, maka arrester itu mungkin tidak mampu memutuskan arus susulan. Pesyaratan yang harus dipenuhi oleh arrester adalah sebagai berikut:

- a) Tegangan percikan (sparkover) dan tegangan pelepasnya (discharge voltage), yaitu tegangan pada terminalnya pada waktu pelepasan, harus cukup rendah, sehingga dapat mengamankan isolasi peralatan. Tegangan percikan disebut juga tegangan gagal sela ( gap breakdown voltage ). Tegangan pelepasan disebut juga tegangan sisa ( residual voltage ) atau jatuh tegangan (voltage drop ) IR.

- b) Arrester harus mampu memutuskan arus dinamika, dan dapat bekerja terus seperti semula. Batas dari tegangan sistem dimana pemutusan arus susulan ini masih mungkin, disebut tegangan dasar (rated voltage ) dari arrester.



Gambar 2.3 Arus melalui arrester



Gambar 2.4 Perlindungan tegangan dan Arus pelepasan pada arrester

Kadang kadang dipakai juga elektro dengan sela udara, disebut juga sela pelindung (protection gap ) sebagai ganti arrester. Tetapi pada umumnya sela ini tidak dipakai, karena tegangan perciknya berubah ubah tergantung dari keadaan udara dank arena ini tidak mampu memutuskan arus susulan.Sela semacam ini dipakai hanya pada pemisah pada sisi keluar dari suatu saluran transmisi.

## 2.9 Jangkauan Perlindungan Oleh Arrester

Arrester mempunyai elemen katup ( Valve element ) yaitu terdiri dari tahanan tak linier( non-linear resistance) yang terpasang seri dengan elemen sela ( gap elemen ). Tegangan diantara terminal arester pada waktu pelepasan ditunjukkan pada Gbr.2.4. Karena adanya jarak antara arester dan alat yang dilindungi serta adanya pantulan( reflection ) surja, maka tegangan pada terminal dari alat yang dilindungi lebih tinggi dari tegangan arester.Oleh karena itu, jarak antara arester dan alat yang dilindungi harus dibuat sedekat mungkin. Pada umumnya jarak sampai 50m

dianggap masih aman, meskipun gangguan petirnya sangat dekat dengan G.I., asalkan ada toleransi 20 -30 % antara tingkat isolasi (BIL) dari alat yang dilindungi dan tegangan pelepasan dari arrester.

Untuk pengamanan terhadap surja hubung (switching surge) ,arrester sebaiknya dipasang diantara transformator, yang memang menjadi tujuan utama perlindungan ini ,dan pemutus bebannya. Pertimbangannya ialah bahwa arester itu akan dapat juga menyerap surja dari pemutusan arus pembangkit.

## 2.10. Jarak antara Arrester dan alat yang dilindungi

Meskipun yang paling baik adalah penempatan arester sedekat mungkin dengan alat yang dilindungi, tetapi dalam praktek kadang kadang hal ini tidak dimungkinkan. Jika jarak itu terlalu jauh, tegangan abnormal yang sampai pada terminal dari peralatan akan lebih tinggi dari pada tegangan pelepasan arester. Hubungan antara tegangan terminal dari alat yang dilindungi dan jarak arrester, dengan memisalkan hanya ada satu saluran ( paling gawat ) dan gelombang yang datang berbentuk segitiga, adalah sebagai berikut :

$$e_t = e_a + 2\mu x/v$$

dimana  $e_t$  = Tingkat Isolasi Dasar Transformator (kV)

$e_a$  = Tegangan pelepasan dari arrester (kV)

$\mu$  = Kecuraman muka gelombang dari gelombang yang datang (m)

$v$  = Kecepatan rambat gelombang yang datang ( m )

$x$  = jarak dari arrester ke alat yang dilindungi (m)

Oleh karena itu jarak (  $x$  dalam persamaan di atas ) harus sekecil mungkin supaya tidak melebihi kekuatan isolasi alat. Sebagai contoh, untuk sistem 154 kV , jika dimisalkan  $\mu = 300\text{kV}/\mu\text{s}$ ,  $e_t = \text{BIL } 750 \text{ kV}$  dan  $e_a = 630 \text{ kV}$ , maka  $x = 60 \text{ m}$ . jika untuk gelombang petir yang datang dari jauh,  $x = 50\text{m}$  adalah cukup, maka tidak demikian halnya untuk petir yang dekat menyambarnya. Meskipun pada umumnya dipakai  $500\text{kV}/\mu\text{s}$ , tetapi kecuraman sampai  $1000\text{kV}/\mu\text{s}$  juga terjadi dalam keadaan istimewa menurut rekomendasi IEC(1958). Dalam praktek, sebagian besar dari rangkaian yang ada , tidak sederhana gambaran tadi, Jika ada lebih

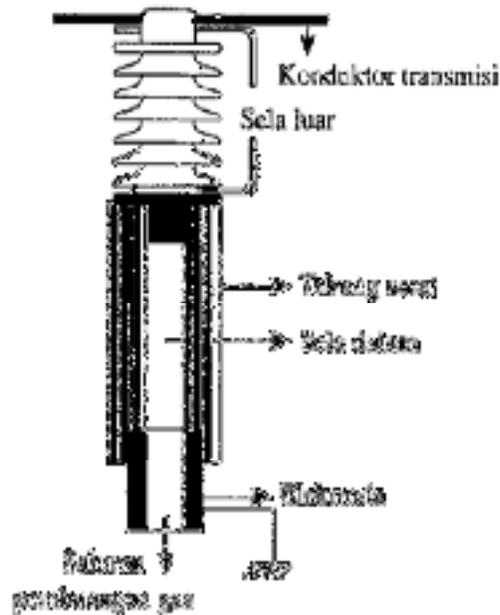
dari satu saluran tersambung pada gardu induk maka efeknya adalah menurunkan tegangan lebih tersebut. Oleh karena itu  $x = 50\text{m}$  atau lebih jauh lagi, dapat dianggap cukup aman meski dengan petir yang dekat sekalipun, Namun yang terpenting adalah berusaha sejauh mungkin melindungi peralatan dari sambaran petir yang dekat .

## **2.11. Jenis jenis Arrester**

Sebelumnya telah dijelaskan bahwa alat pelindung tegangan lebih sela batang tidak dapat memutuskan arus susulan. Untuk memutuskan arus susulan tersebut, dikembangkan alat pelindung tegangan lebih yang disebut arrester. Ada dua jenis arrester, yaitu arrester ekspulsi dan arrester katup.

### **2.11.1 Arrester Ekspulsi**

Arrester jenis ekspulsi digunakan pada sistem tenaga listrik bertegangan hingga 33 kV. Konstruksinya diperlihatkan pada Gambar 4.7. 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 kedua pasang elektroda ini membuat arrester ini mampu 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. Demikian juga tegangan tembus sela dalam dibuat lebih rendah daripada tegangan lompatan api tabung serat.



Gambar 2.5. Arrester ekspulsi

Bila pada terminal arrester tiba suatu tegangan impuls petir, maka sela dalam dan sela Iuar sama-sama terpercik, sehingga arus petir mengalir ke tanah. Arus petir menimbulkan busur api pada kedua sela. Karena arus petir berlangsung dalam tempo mikrosekond, maka energi panas yang terjadi pada busur api relatif rendah. Setelah arus petir menjadi nol, mengalir arus susulan yang ditimbulkan tegangan frekuensi daya. Karena arus susulan berlangsung dalam tempo milisekond, maka energi panas yang terjadi pada busur api relatif besar. Panas pada busur api didisipasikan ke tabung serat. Akibatnya, bahan organik pada permukaan dalam tabung serat menguap dan menghasilkan gas bertekanan tinggi. Gas tersebut terdorong keluar dari lobang pipa elektroda sela dalam yang dibumikan. Gas ini mendinginkan busur api pada sela dalam, sehinggamenimbulkan deionisasi. Arus susulan merupakan arus sinusoidal. Artinya, dalam satu periode, arus susulan dua kali bernilai nol. Ketika arus susulan mencapai nol, busur api mengecil, dan pada saat itulah busur api dipadamkan oleh gas yang diproduksi tabung serat. Jika busur api sudah padam, maka arus susulan tidak berlanjut lagi. Arus susulan paling lama bertahan selama dua periode, tapi biasanya sudah padam dalam waktu setengah periode arus susulan.

Kemampuan gas memadamkan busur api bergantung kepada besarnya energi panas busur api. Energi panas busur api bergantung kepada besar arus susulan yang mengalir pada arester, sedangkan besar arus susulan bergantung kepada tegangan sistem dan parameter impedansi

sistem. Jika arus susulan besar, busur api yang ditimbulkannya juga besar, sehingga gas yang diproduksi tabung serat tidak mampu lagi memadamkan busur api tersebut. Akibatnya, arus susulan tetap berlanjut. Maka, pemakaian arrester ini terbatas hanya pada sistem yang kapasitas daya hubung singkatnya rendah, umumnya pada sistem yang bertegangan sampai 33 kV. Arester ini dapat digunakan untuk melindungi transformator distribusi bertegangan 3 - 15 kV tetapi belum memadai untuk melindungi transformator daya. Arester ini dapat juga digunakan pada saluran transmisi untuk mengurangi besar tegangan impuls petir yang masuk ke gardu induk.

Keuntungan arrester ini adalah sebagai berikut:

- a) Karena konstruksinya sederhana, harganya tidak begitu mahal.
- b) Unjuk kerjanya lebih baik daripada pelindung jenis sela batang, karena dapat memadamkan sendiri arus susulan.
- c) Karakteristik volt-waktu arrester ini lebih baik daripada sela batang.
- d) Pemasangannya mudah.

Sedangkan kelemahan arester ini adalah sebagai berikut:

- a) Setelah beberapa kali bekerja, arrester harus diganti, karena setiap kali arrester bekerja, tabung serat arrester mengeluarkan gas yang mengakibatkan sebagian material tabung terkelupas.
- b) Adanya gas buangan ketika arrester bekerja membuat arester tidak dapat ditempatkan berdampingan dengan peralatan yang akan dilindungi.
- c) Karakteristik volt-waktu arester ini masih kurang baik, sehingga tiadak dapat digunakan untuk melindungi peralatan yang harganya mahal.

Prinsip Kerja Lightning Arrester jenis Ekspulsi

Bila ada tegangan surja yang tinggi sampai pada jepitan arrester, kedua sela percik, yang didalam maupun yang di dalam tabung serat, tembus seketika dan membentuk jalan penghantar dalam bentuk busur api. Jadi arster menjadi konduktor dengan impedansi yang rendah dan menyalurkan petir/surja dan arus daya system bersama sama ke bumi. Panas yang timbul akibat mengalirnya arus petir menguapkan sedikit bahan dinding tabung serat, sehingga gas yang ditimbulkan menyembur dan memadamkan api pada waktu arus susulan melewati titik nolnya.

Arus susulan dalam arrester ini dapat mencapai harga yang tinggi sekali ,tetapi lamanya tidak lebih dari 1 atau 2 gelombang, dan biasanya kurang dari setengah gelombang.jadi tidak menimbulkan gangguan.Arrester jenis ekspulsi ini mempunyaikarakteristik volt-waktu yang lebih baik dari sela batang dan memutuskan arus susulan.Akan tetapi tegangan impulsna lebih tinggi dari pada arrester jenis katup.Kemampuan untuk memutuskan arus susulan tergantung dari arus hubung singkat dari system pada titik dimana arrester itu dipasang.Dengan demikian perlindungan dengan arrester jenis ini dipandang tidak memadai untuk perlindungan transformator daya kecuali untuk system distribusi.Arester jenis ini banyak digunakan pada saluran transmisi untuk membatasi surja yang memasuki gardu induk.

### **2.11.2 Arrester Jenis Katup**

Berdasarkan sela perciknya, arrester katup terdiri dari arester sela pasif, arrester sela aktif dan, arrester tanpa sela percik. Arrester sela pasif digunakan pada jaringan distribusi hantaran udara; arester sela aktif digunakan pada jaringan tegangan tinggi dan titik pusat jaringan distribusi; sedangkan arrester tanpa sela digunakan untuk semua tingkat tegangan.

#### **2.11.2.1 Arrester Katup Sela Pasif**

Konstruksi arrester jenis katup sela pasif diperlihatkan pada Gambar 4.8. Arrester ini terdiri dari sela percik, resistor non-linier dan isolator tabung. Sela percik terdiri dari beberapa susunan elektroda plat-plat yang terhubung seri. Sela percik dan resistor nonlinier keduanya ditempatkan dalam tabung isolasi tertutup, sehingga kerja arester ini tidak dipengaruhi oleh keadaan udara sekitar.

Resistor non-linier terbuat dari beberapa piring silikon karbida (silicort 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. Karakteristik arus dan tegangan suatu resistor non-linier dapat dinyatakan dengan Persamaan 2.1

$$I = K V^{\alpha} \quad 2.1$$

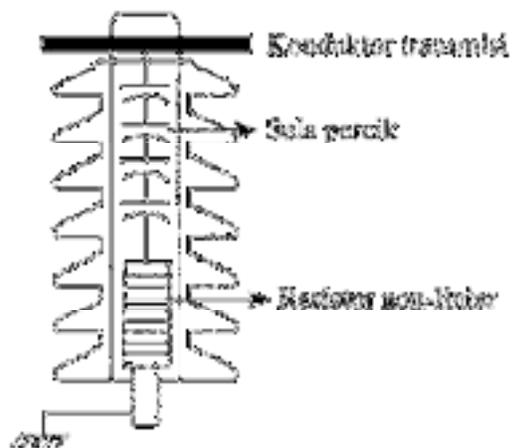
Untuk bahan karbon silikon,  $\alpha$  berkisar antara 2 - 6, sedangkan nilai K bergantung kepada ukuran dan bentuk geometris piring silikon karbida. Karakteristik ketidaklinierannya ditentukan sifat listrik kontak antar permukaan piring silikon karbida.

Jika tegangan impuls petir tiba di terminal arrester dan sela arrester terpercik, maka rangkaian ekuivalen arrester adalah seperti diperlihatkan pada Gambar 2.7a.

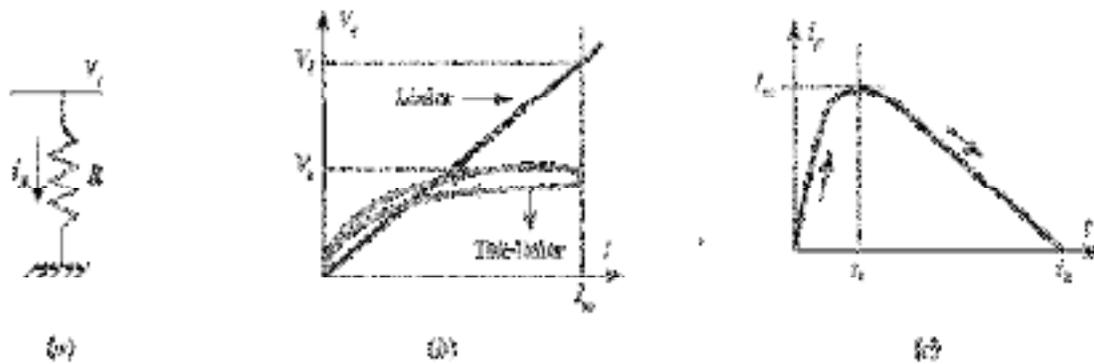
Jika resistansi resistor non-linier adalah  $R$ , dan arus petir yang dialirkan ke tanah adalah  $i_p$ , maka tegangan pada terminal arrester ketika mengalirkan arus petir  $i_p$ , adalah:

$$V_t = i_p R \quad 2.2$$

Misalkan karakteristik resistor non-linier adalah seperti diperlihatkan pada Gambar 2.7b dan arus petir yang mengalir pada arrester adalah seperti diperlihatkan pada Gambar 2.7c. Dalam selang waktu  $0 - t_1$ , arus petir naik dan mencapai nilai puncak  $i_p = I_m$ . Dalam selang waktu ini resistansi  $R$  mengecil, sehingga kenaikan tegangan terminal arrester dibatasi hanya sampai  $V_\alpha$ . Seandainya nilai resistor  $R$  konstan, maka ketika arus petir mencapai nilai puncak ( $I_m$ ), tegangan di terminal arrester sama dengan  $V_1$ . Artinya



Gambar 2.6 Arrester katup



Gambar 2.7 Rangkaian Ekuivalen dan Karakteristik Arrester

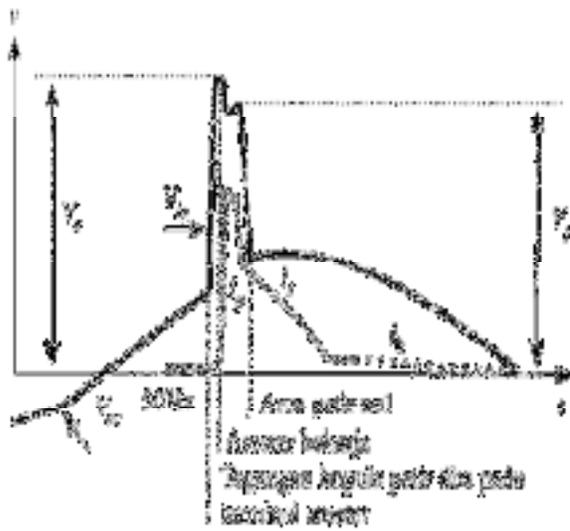
tegangan sistem tetap tinggi, sehingga tujuan perlindungan tidak tercapai. Dalam selang waktu  $t_1 - t_2$ , arus petir menurun, nilai resistor  $R$  membesar. Ketika arus petir menjadi nol, masih tersisa arus susulan ( $i_s$ ) yang relatif kecil. Arus susulan ini juga akan semakin kecil karena resistansi  $R$  semakin membesar, akhirnya tersisa arus yang lebih kecil lagi, yaitu arus kendali ( $i_k$ ). Biasanya arus kendali ini kurang lebih 50 A. Ketika arus kendali sama dengan nol, busur api pada sela padam sehingga arus kendali menjadi nol dan tidak berlanjut lagi. Seluruh proses di atas diperlihatkan pada Gambar 2.8.

Pada Gambar 2.8 terlihat bahwa besarnya arus susulan tergantung kepada waktu tibanya tegangan petir. Jika tegangan petir tiba ketika tegangan sesaat sistem mendekati nilai puncaknya, maka arus susulannya besar. Jika tegangan impuls tiba ketika tegangan sesaat sistem mendekati nilai nol, maka arus susulannya kecil.

Tegangan di terminal arrester sama dengan tegangan di terminal peralatan yang dilindunginya. Tegangan petir yang tiba pada suatu peralatan yang dilindungi dengan arrester katup diperlihatkan pada Gambar 2.9. Karena tegangan  $V_p$  berlangsung lebih lama daripada  $V_a$ , maka tingkat tegangan perlindungan arrester ini ditetapkan sama dengan  $V_p$ .

### 2.11.2.2 Arrester Katup Sela Aktif

Konstruksi arrester katup sela aktif hampir sama dengan arrester katup sela pasif. Perbedaannya terletak pada metode pemadaman busur api pada sela percik. Pada arrester



keterangan :

$V_{ip}$  = Tegangan impuls petir

$V_a$  = Tegangan gagal sela arrester

$V_p$  = Tegangan sisa

$i_p$  = Arus Petir

$i_s$  = Arus susulan

$i_k$  = Arus Kendali 50 A

Gambar 2.8 Tegangan dan Arus Arrester Katup Sela Pasif

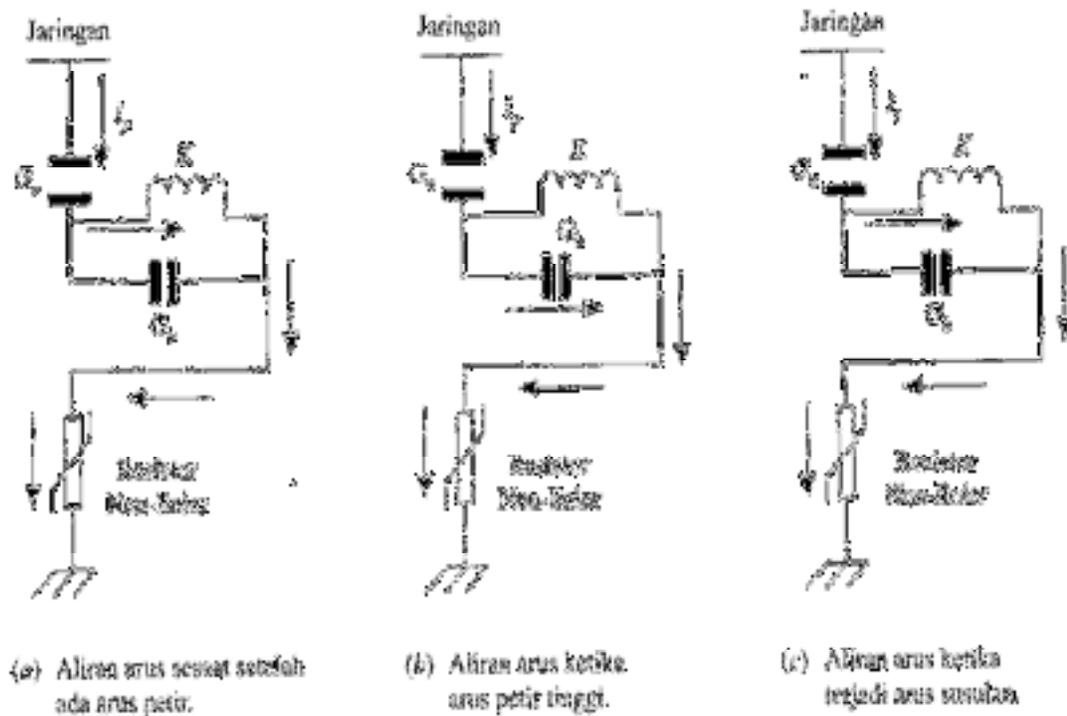


Gambar 2. 9 Tegangan Impuls Yang Tiba Pada Peralatan

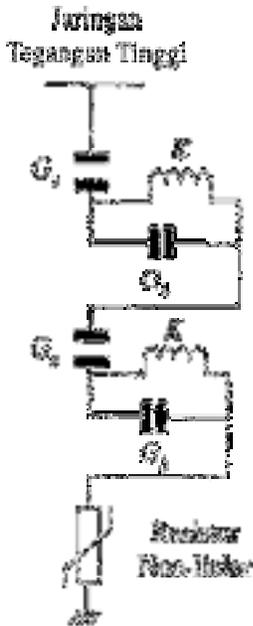
katup sela aktif, ada suatu usaha untuk memadamkan busur api, yaitu memperpanjang dan mendinginkan busur api dengan cara membangkitkan medan magnet pada sela percik. Prinsip kerjanya dapat dijelaskan dengan bantuan Gambar 2.10

Arrester katup sela aktif terdiri dari sela utama (G<sub>1</sub>), kumparan (X), sela bantu (G<sub>2</sub>) dan resistor non-linier. Semuanya dimasukkan dalam tabung isolasi porselen. Jika suatu tegangan impuls petir membuat sela utama arrester terpercik, maka mula-mula, arus petir mengalir ke tanah melalui sela utama, kumparan dan resistor non-linier. Karena tegangan impuls petir merupakan

tegangan berfrekuensi tinggi, maka impedansi kumparan menjadi besar, sehingga tegangan pada terminal kumparan menjadi tinggi. Beda tegangan yang tinggi pada terminal kumparan, mengakibatkan sela bantu terpercik. Dengan terperciknya sela bantu, maka arus petir mengalir melalui sela bantu, sedangkan kumparan tidak lagi dilalui arus petir. Setelah arus petir menjadi nol, mengalir arus susulan berfrekuensi daya. Pada frekuensi daya, impedansi kumparan sangat rendah, sehingga sebagian arus susulan mengalir melalui kumparan,



Gambar 2.10 Rangkaian Arrester Katup Sela Aktif



Gambar 2.11  
Arrester Katup Sela Aktif Tegangan Tinggi



Gambar 2.12  
Arrester Katup Sela Aktif  
Tanpa Sela Bantu.

mengakibatkan busur api pada sela bantu tidak stabil dan akhirnya padam. Selanjutnya, semua arus susulan mengalir melalui kumparan (Gambar 2.10c). Arus susulan pada kumparan membangkitkan medan magnet yang menerpa busur api pada sela utama, membuat lintasan busur api semakin panjang dan temperatur busur api berkurang, sehingga ketika arus susulan bernilai nol, busur api pada sela utama padam.

Jika arrester ini hendak digunakan pada jaringan bertegangan lebih tinggi, maka ditambah satu atau lebih set "sela utama-kumparan-sela bantu" seperti diperlihatkan pada Gambar 2.11. Sela bantu dapat juga diganti dengan resistor non-linier seperti diperlihatkan pada Gambar 2.12.

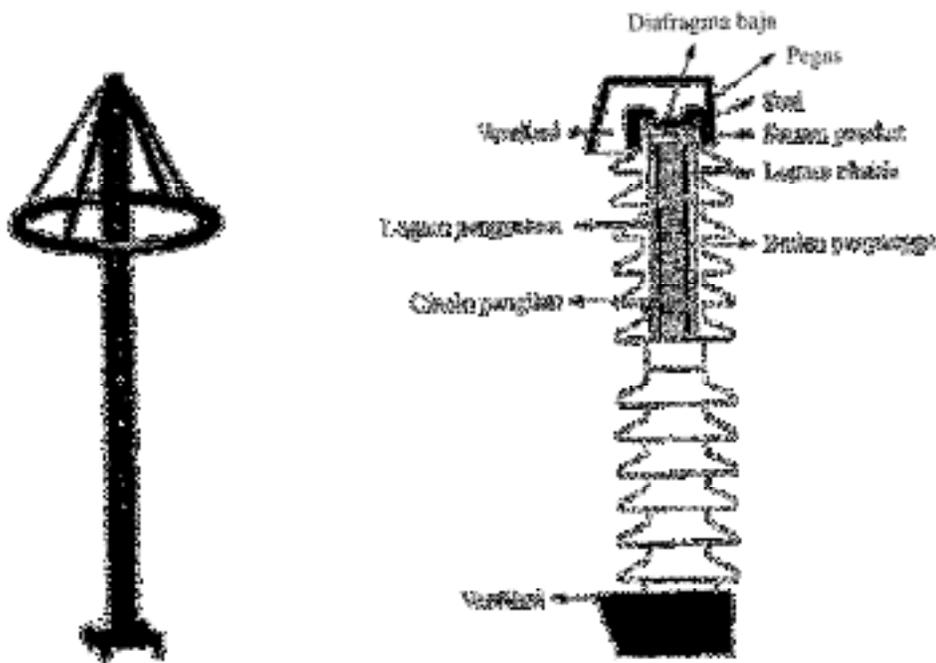
### 2.11.2.3 Arester Katup Tanpa Sela Percik

Konstruksi arester jenis tanpa katup diperlihatkan pada Gambar 2.13. Arrester ini tidak menggunakan sela percik seperti halnya kedua jenis arester 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.

Resistor non-linier terbuat dari beberapa kolom logam oksida. Satu kolom terbuat dari beberapa lempeng logam oksida yang disusun bertindih atau secara listrik terhubung seri. Lempeng oksida logam berbentuk silinder, diameter 30 - 100 mm dan panjang 20 - 45 mm. Kolom-kolom logam oksida dikurung oleh beberapa batang penyangga. Batang penyangga di beberapa tempat diikat oleh cincin pengikat, sehingga susunan lempeng logam oksida terpadu dengan kokoh. Di antara satu kolom logam oksida dengan kolom logam oksida lain diselipkan medium logam, berbentuk tabung yang terbuat dari bahan aluminium. Medium logam ini berfungsi untuk menghubungkan dua kolom logam oksida dan sekaligus berfungsi sebagai pendingin.

Resistor logam oksida dimasukkan dalam bejana isolasi porselen. Di kedua ujung resistor dipasang per untuk menghubungkan logam oksida dengan penutup bejana yang terbuat dari diafragma logam tahan korosi. Umumnya diafragma dibuat dari bahan baja murni tingkat tinggi atau nikel. Jika logam oksida mengalami pemanasan berlebihan,



Gambar 2.13 konstruksi arrester logam oksida

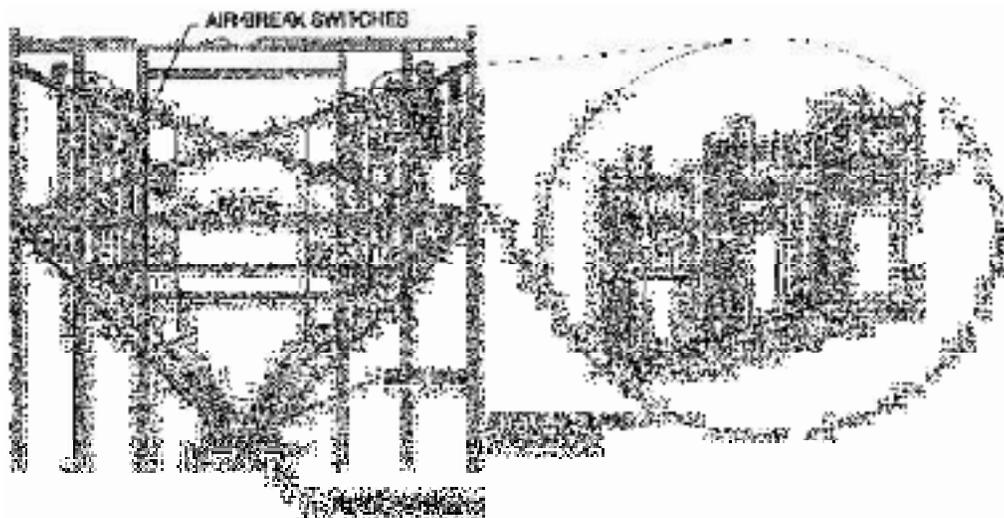
Tekanan udaradiruangbejanaisolasinaiktinggi,sehinggadaradapatmenembusdiaphragm dankeluarilobangventilasiyangterdapatpadakeduaujung arrester.

Karena resistor non-linier teriambung langsung ke jaringan, pada keadaan normal, arrester mengalirkan arus berfrekuensi daya ke tanah. Arus ini sangat rendah, besarnya dalam orde  $10^{-4}$  pada tegangan hingga 350 kV. Tanggapannya terhadap tegangan lebih berlangsung cepat, yaitu dalam orde 0,5 nanosekon. Jika tegangan lebih tiba di terminal arrester, arus yang mengalir ke tanah semakin tinggi dan resistansi resistor non-linier menurun. Maka, ketika arus petir mengalir melalui arrester ke tanah, kenaikan tegangan pada terminal arrester dapat dibatasi hingga tidak sampai merusak peralatan yang dilindungi.

Arrester ini dapat mengalirkan arus dari orde ampere hingga beberapa kiloampere, sedangkan tegangan kerjanya dari orde volt hingga ratusan kilovolt. Kelemahan arrester ini adalah mengalirkan arus bocor kontinu ke tanah; menyerap energi yang besar; dan mengandung kapasitansi, yaitu kapasitansi yang dibentuk piring-piring logam oksida.

### 2.11.3 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 2400 volt sampai 287 kV dan tinggi.



Gambar 2.14 Arrester Katup Jenis Gardu

#### **2.11.4 Arrester katup jenis saluran**

Arrester jenis saluran ini lebih murah dari arrester jenis gardu. kata “saluran” disini bukanlah berarti untuk saluran transmisi. Seperti arrester jenis gardu, arrester jenis saluran ini dipakai untuk melindungi transformator dan pemutus daya serta dipakai pada system tegangan 15 kV sampai 69 kV.

#### **2.11.5 Arrester katup jenis distribusi**

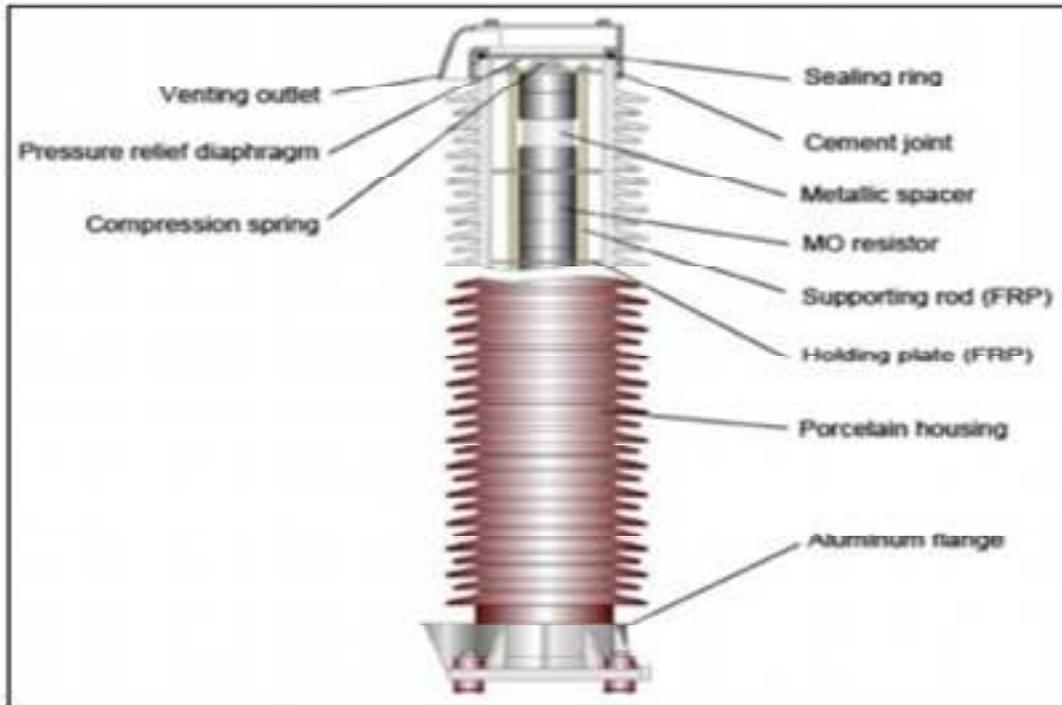
Arrester jenis distribusi ini khusus melindungi mesin– mesin berputar seperti di atas dan juga melindungi transformator dengan pendingin udara tanpa minyak. Arrester jenis ini dipakai pada peralatan dengan tegangan 120 volt sampai 750 volt.

#### **2.11.6 Arrester Katup Jenis Gardu untuk Mesin - Mesin**

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

#### **2.12 Konstruksi Lightning Arrester**

Lightning Arester atapun di gardu induk, memiliki konstruksi yang hampir serupa. Komponen utama dari LA adalah varistor / komponen aktif yang terbuat dari Zinc Oxide. Varisto ini berbentuk keping blok, tersusun di dalam *housing*/ kompartemen yang terbuat dari porselen ataupun polymer. Selain sebagai penyangga , housing ini juga berfungsi untuk mengisolasi antara bagian bertegangan dan tanah pada tegangan operasi LA.



Gambar 2.15 .Kontruksi LA

LA juga dilengkapi dengan katup pressure relief di kedua ujungnya. Katup ini berfungsi untuk melepaskan tekanan internal yang berlebihan, pada saat LA dilalui arus surja. Kontruksi lain pendukung LA terdiri dari : struktur penyangga , granding ring, pentanahan dan alat monitoring. Lebih jauh akan dijelaskan dibawah ini :

### 2.13 Granding Ring

Granding ring diperlukan pada LA dengan ketinggian  $> 1.5$  meter atau pada LA yang dipasang bertingkat. Granding ring berfungsi sebagai control distribusi medan listrik sepanjang permukaan LA. Medan listrik pada bagian yang dekat dengan tenggangan akan lebih tinggi, sehingga stress pada active part di posisi tersebut jauh lebih tinggi dibandingkan pada posisi dibawahnya. Stress ini dapat menyebabkan degradasi pada komponen active part. pemilihan ukuran granding ring perlu mempertimbangkan jarak antar fasa. Jarak aman antar konduktor harus sama dengan jarak antar granding ring antar fasa dari arrester.



Gambar 2.16 Grangding Ring LA

## 2.14 Peralatan Monitoring dan Insulator Dudukan

La dilengkapi dengan peralatan monitor, yakni counter jumlah kerja LA dan / atau meter arus bocor total. Sebelum diketanahkan, kawat pentanahan dilewatkan dahulu pada peralatan monitor, maupun pada dudukan LA, agar arus yang malalui LA hanya melewati kawat pentanahan.

## 2.15 Tegangan Sistem

Tegangan sistem yang di maksud dengan tegangan sistem ialah tegangan tertinggi yang mungkin timbul pada kawat. Tegangan tertinggi ini timbul pada waktu gangguan kawat ke tanah. Tegangan tertinggi itu tergantung juga pada metode pembumian sistem. Tegangan sistem maksimum kawat ke tanah , biasanya diambil 110 Persen dari tegangan jala – jala.

Pengaruh dari sistem pembumian terhadap tegangan maksimum yang mungkin timbul pada kawat dalam keadaan gangguan kawat ke tanah.

### 2.15.1 Sistem yang tidak dibumikan arau sistem terisolasi

Pada sistem yang tidak dibumikan atau sistem terisolasi, tengangan yang mungkin timbul pada arrester dapat lebih besar dari pada tegangan jala-jala. Tegangan maksimum, untuk pemakaian arrester diambil 110 persen dari tegangan jala jala. Arrester dengan tegangan nini dinamakan arrester 100%.

### 2.15.2 Sistem dibumikan dengan kumparan Peterson.

Tegangan maksimum pada gangguan tanah sama dengan tegangan jala-jala. Untuk sistem ini dianjurkan menggunakan arrester dengan tegangan jala-jala atau arrester 100%.

### 2.15.3 Sistem dibumikan dengan impedansi

Sistem yang dibumikan dengan impedansi dapat dibagi kedalam dua kelas, pembumian efektif dan pembumian tidak efektif.

### 2.15.4 Sistem yang dibumikan efektif

Suatu sistem dikatakan dibumikan efektif bila pada keadaan gangguan tegangan kawat ke tanah tidak melampaui 80% tegangan jala-jala sistem. Untuk ini diperlukan persyaratan :  $R0/X1 \leq 1$  dan  $R0/X1 \leq 3$ . Jadi pada sistem misalnya 150 KV , yang dibumikan efektif pengenal arrester dapat diambil  $0,8 \times 1,1 \times 150 \text{ KV} = 135 \text{KV}$  .

### 2.15.5 Sistem yang dibumikan tidak efektif

Sistem yang dibumikan tidak efektif ialah bila tegangan pada fase sehat dalam keadaan gangguan kawat ke tanah lebih 80% tegangan jala-jala tetapi tidak melebihi 100%. Pengenal arrester yang dipakai tergantung dari harga-harga  $R0/R1$  dan  $X0/X1$  ditempat arrester. Tegangan maksimum kawat ke tanah untuk suatu sistem yang dibumikan dengan impedansi dapat dicari. Umumnya arrester dibagi dalam 3 macam angka pengenal tegangan 100% , 80%, untuk tegangan arrester yang lebih rendah dari 75% arus ditambahkan 7,5% sebagai factor keselamatan.

## 2.16 Tegangan Pengenal Arrester

Pada umumnya pengenal atau rating arrester hanya pengenal tegangan.

Pada beberapa tabung pelindung atau arrester jenis ekspulsi perlu juga disebut pengenal arusnya yang menentukan kapasitas termal arrester tersebut.

Supaya pemakaian arrester lebih efektif dan ekonomis, perlu diketahui 4 macam karakteristiknya

1. Pengenal tegangan : ini paling sedikit sama dengan tagangan maksimum yang mungkin timbul selama terjadi gangguan.
2. Karakteristiknya perlindungan atau karakteristik impuls: ini adalah untuk koordinasi yang baik antara arrester dan peralatan yang dilindungi.
3. Kemampuan pemutusan arus frekuensi dasar.
4. Kemampuan menahan atau melewatkan arus surja.

## 2.17 Kelonggaran Perlindungan

Kelonggaran perlindungan atau “protective margin” ialah selisih antara Tingkat Isolasi Dasar (TID) isolasi peralatan yang dilindungi dan tingkat perlindungan arrester. Besar

kelonggaran ini biasanya diambil 20% dari TID peralatan, bila arrester itu dipasang cukup dekat dengan peralatan

## **2.18 Persyaratan Yang Harus Dipenuhi Oleh Arrester**

A. Tegangan percikan ( sparkover voltage ) dan tegangan pelepasannya ( discharge voltage ), yaitu tegangan pada terminal pada waktu pelepasan, harus cukup, sehingga dapat mengamankan isolasi peralatan. Tegangan percikan tersebut disebut juga tegangan gagal sela ( gap breakdown voltage ) sedangkan pelepasan disebut juga tegangan sisa ( residual voltage ) atau tegangan jatuh ( voltage Drop ).

Dimana  $I$  = arus arrester maksimum (A)

$R$  = tahanan arrester (ohm)

B. Arrester harus mampu memutuskan arus dinamik dan dapat bekerja terus seperti semula. Batas tegangan sistem dimana arus susulan ini masih mungkin, disebut tegangan dasar.

### **2.18.1 Karakteristik Lightning Arrester**

Oleh karena arrester dipakai untuk melindungi peralatan sistem tenaga listrik maka perlu diketahui karakteristiknya sehingga arrester dapat digunakan dengan baik didalam pemakaiannya. Arrester mempunyai tiga karakteristik dasar yang penting dalam pemakaiannya, yaitu :

1. Tegangan rated  $50c/s$  yang tidak boleh dilampui
2. Arrester mempunyai karakteristik yang dibatasi oleh tegangan (voltage limited ) bila dilalui oleh berbagai macam arus petir.
3. Batas terenis

Sebagaimana diketahui bahwa arrester adalah suatu peralatan tegangan yang mempunyai tegangan ratingnya. Maka jelaslah bahwa arrester tidak boleh dikenakan tegangan yang melebihi rating ini.

Untuk batas ternis ialah kemampuan untuk mengalirkan arus surja dalam wakktu lama atau terjadi berulang-ulang tanpa menaikkan suhunya. Meskipun kemampuan arrester untuk menyalurkan arus sudah mencapai 65000 – 100000 ampere, tetapi kemampuannya untuk melakukan surja hubung terutama bila saluran menjadi panjang dan berisi tenaga besar masih rendah

Maka agar tekanan pada isolasi dapat dibuat serendah mungkin, suatu sistem perlindungan tenaga lebih perlu memenuhi persyaratan sebagai berikut :

1. Dapat melepas tegangan lebih ke tanah tanpa menyebabkan hubung singkat ke tanah
2. Dapat memutus arus susulan
3. Mempunyai tingkat perlindungan ( protection level ) yang rendah , artinya tegangan percikan sela dan tegangan pelepasannya rendah.

### **2.18.2 Pemilihan Lightning Arrester**

Ada beberapa factor dalam memilih Arrester yang sesuai untuk suatu keperluan tertentu , beberapa factor yang harus diperhatikan adalah :

1. Keutuhan perlindungan : ini berhubungan dengan kekuatan isolasi dari alat yang harus dilindungi dan karakteristik impuls dari arrester.
2. MVA yang short circuit yang dinyatakan leat persamaan  $S = kV \times kA$
3. Initial voltage Lightning Arrester yaitu 80% dari BIL , atau sama dengan 100 KV
4. Tegangan sistem : tegangan maksimum yang mungkin timbul pada jepitan arrester
5. Arus hubung singkat sistem : hanya diperlukan pada arrester jenis impuls
6. Factor kondisi luar : apakah normal atau tidak normal (2000 meter atau lebih diatas permukaan laut ) temperatur dan kelembapannya tinggi serta factor pengotoran.
7. Factor ekonomi : merupakan perbandingan antara biaya pemeliharaan dan kerusakan bila tidak ada lightning arrester , atau bila dipasang lightning arrester yang nilainya lebih rendah mutunya.

Untuk tegangan 69KV dan lebih ,dapat dipakai arrester jenis gardu, sedangkan tegangan 23 KV sampai 69 KV dapat dipakai jenis lainnya ,tergantung pada segi ekonomis.

### **2.19 Gardu Induk**

Gardu induk adalah suatu instalasi yang terdiri dari peralatan listrik yang berfungsi untuk :

1. Mengubah tenaga listrik tegangan tinggi yang satu ke tegangan tinggi yang lainnya untuk tegangan menengah.
2. Pengukuran, pengawasan, operasi serta pengaturan pengamanan sistem tenaga listrik.
3. Pengaturan daya ke Gardu-gardu Induk lain melalui tegangan tinggi dan Gardu-gardu Distribusi melalui gawai tegangan menengah.

### **2.20 Kasifikasi Gardu Induk**

Klasifikasi gardu induk dapat dibedakan menurut beberapa hal :

### **2.20.1 Menurut Lokasi dan Fungsinya**

Menurut lokasinya di dalam sistem tenaga listrik, fungsi dan tegangannya (tinggi, menengah, dan rendah) maka gardu listrik dapat dibagi :

#### 1. Gardu Induk Transmisi

Gardu induk transmisi adalah gardu listrik yang mendapatkan daya dari satuan transmisi atau sub-transmisi suatu sistem tenaga listrik kemudian menyalurkannya ke daerah beban (industry, kota dan sebagainya) melalui saluran distribusi primer.

#### 2. Gardu Induk Distribusi

Gardu induk distribusi adalah gardu listrik yang mendapatkan daya dari saluran distribusi primer yang menyalurkan tenaga listrik ke pemakai.

### **2.20.2 Menurut Penempatan Peralatannya**

Menurut penempatannya, gardu induk dapat dibagi :

#### a) Gardu Induk pemasangan dalam

Gardu Induk dimana semua peralatannya (switchgear, isolator dan sebagainya) dipasang di dalam gedung/ruangan tertutup.

#### b) Gardu Induk pemasangan luar

Gardu induk dimana semua peralatannya (switchgear, isolator dan sebagainya ) di tempatkan di udara terbuka.

### **2.20.3 Menurut Isolasi Yang Digunakan**

#### a) Gardu Induk dengan Isolasi Udara

Merupakan gardu induk yang menggunakan isolasi udara anantara bagian yang bertegangan yang satu dengan bagian yang bertegangan lainnya. Gardu induk ini berupa gardu induk konvensional dan memerlukan tempat terbuka yang cukup luas.



Gambar 2.17 Gardu induk Konvensional

b) Gardu Induk Menggunakan Isolasi Gas SF<sub>6</sub>

Gardu induk yang menggunakan gas SF<sub>6</sub> sebagai isolasi antara bagian yang bertegangan yang satu dengan bagian yang lain yang bertegangan, maupun antara bagian yang bertegangan dengan bagian yang tidak bertegangan. Gardu induk ini disebut Gas Insulated Substation atau Gas Insulated Switchgear (GIS), yang memerlukan tempat yang sempit.

#### **2.20.4 Menurut Sistem Rel (Busbar)**

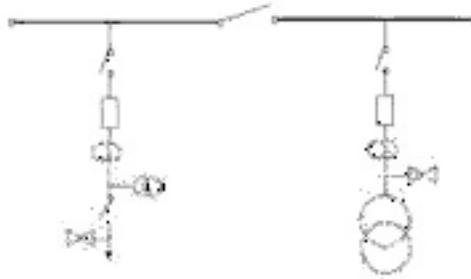
Rel (Busbar) merupakan titik hubungan pertemuan (connecting) antara transformator daya SUTT/SKTT dengan komponen listrik lainnya, untuk menerima dan menyalurkan tenaga listrik. Berdasarkan sistem rel (busbar), gardu induk dibagi menjadi beberapa jenis, yaitu :

a. Gardu Induk Sistem Ring Busbar

Merupakan gardu induk yang busbarnya berbentuk ring. Pada gardu induk jenis ini, semua rel (busbar) yang ada terhubung satu dengan lainnya dan membentuk ring (cincin).

b. Gardu Induk Sistem Single Busbar

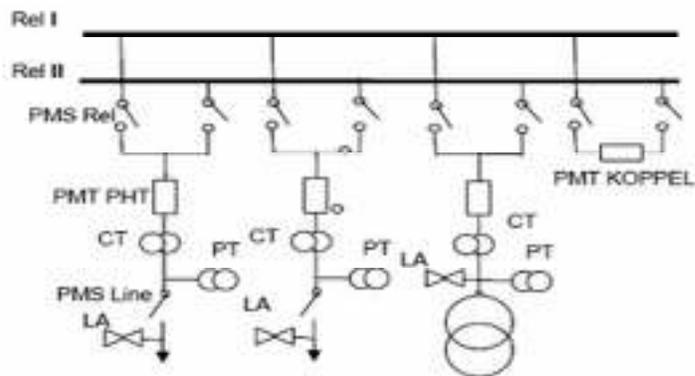
Merupakan gardu induk yang mempunyai satu (single) busbar. Pada umumnya gardu induk dengan sistem ini adalah gardu induk yang berada pada ujung (akhir) dari suatu sistem transmisi.



Gambar 2.18 Single Line Diagram Gardu Induk Single Line Busbar

c. Gardu Induk Sistem Double Busbar

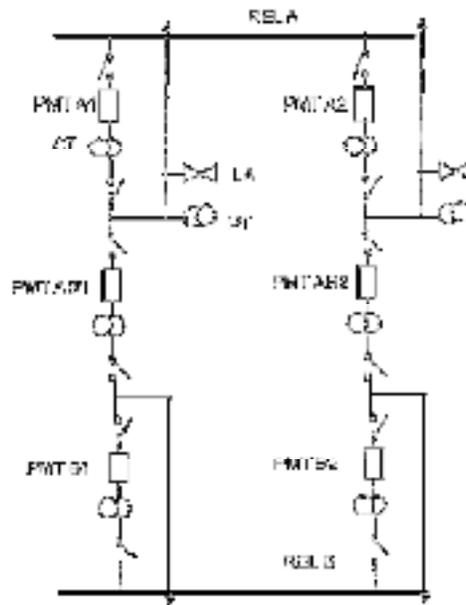
Merupakan gardu induk yang mempunyai dua (double) busbar. Gardu induk ini sangat efektif untuk mengurangi terjadinya pemadaman beban, khususnya pada saat melakukan perubahan sistem (maneuver sistem). Jenis gardu induk ini pada umumnya yang banyak digunakan.



Gambar 2.19 Single Line Diagram Gardu Induk Sistem Double Busbar

d. Gardu Induk Sistem Satu Setengah (OnHalf) Busbar

Adalah gardu induk yang mempunyai dua (double) busbar. Pada umumnya gardu induk jenis ini dipasang pada gardu induk di pembangkit tenaga listrik atau gardu induk yang berkapasitas besar. Dalam segi operasional, gardu induk ini sangat efektif, karena dapat mengurangi pemadaman beban pada saat dilakukan perubahan system (manuver system). Sistem ini menggunakan 3 buah PMT dalam satu diagonal yang terpasang secara deret (seri).



Gambar 2.20 Single Line Diagram Gardu Induk Satu Setengah Busbar

# **BAB III**

## **GARDU INDUK TAMORA**

### **UPT MEDAN**

#### **3.1 Gardu Induk TAMORA**

Gardu Induk Tamora merupakan jenis gardu induk Konvensional atau gardu induk pasangan luar yang dilihat menurut jenis,peranan,dan letak pemasangannya.Pasangan luar yang dimaksud adalah peralatan tegangan tingginya dipasang diluar gedung atau luar bangunan.Dan beberapa peralatan yang lain berada di dalam gedung , seperti panel control, relay , kubikel ,PLC , baterai,meja penghubung (switch board).

Gardu induk Tamora memiliki 3 Trafo Daya , yaitu :

- a. Trafo Daya 1 , 60 MVA merek UNINDO.
- b. Trafo Daya 2 , 60 MVA merek PAUWELS.
- c. Trafo Daya 3 , 60 MVA Merek PASTI.

#### **a. Transformator Daya**

Transformator/ Transformer / Trafo adalah suatu peralatan listrik yang termasuk dalam klasifikasi mesin listrik statis dan berfungsi untuk menyalurkan tenaga/daya listrik dari tegangan tinggi ke tegangan rendah atau sebaliknya, dengan frekuensi sama. Dalam pengoperasiannya, transformator-transformator tenaga pada umumnya ditanahkan pada titik netral, sesuai dengan kebutuhan untuk sistem pengamanan atau proteksi. Sebagai contoh transformator 150/70 KV ditanahkan secara langsung di sisi netral 150 KV, dan transformator 70/20 KV ditanahkan dengan tahanan di sisi netral 20 KV nya. Transformator yang telah diproduksi terlebih dahulu melalui pengujian sesuai standar yang telah ditetapkan.



Gambar 3.1 Trafo daya merek Unindo G.I Tamora

**b. *Neutral Grounding Resistance (NGR)***

*Neutral Grounding Resistance (NGR)* adalah komponen yang dipasang antara titik netral trafo dengan pentanahan. *Neutral Grounding Resistance (NGR)* berfungsi untuk memperkecil arus gangguan yang terjadi.



Gambar 3.2 Neutral Grounding Resistance

**c. *Tranformator Arus ( Current transformer / CT )***

Trafo arus disebut juga current transformer (CT) berfungsi untuk menurunkan arus yang besar pada tegangan tinggi menjadi arus yang kecil pada tegangan rendah untuk keperluan pengukuran dan pengamanan (proteksi).



Gambar 3.3 Transformator Arus ( Current Transformers / CT ) G.I TAMORA

**d. Pemutus tenaga (PMT) / Circuit Breaker**

Pemutus tenaga (PMT) adalah peralatan atau saklar untuk menghubungkan atau memutuskan suatu rangkaian/jaringan sesuai dengan ratingnya. PMT memutuskan hubungan daya listrik bila terjadi gangguan, baik dalam keadaan berbeban maupun tidak berbeban dan proses ini dilakukan dengan cepat. Pada waktu menghubungkan dan memutus beban, akan terjadi tegangan recovery yaitu suatu fenomena tegangan lebih dan busur api, oleh karena itu sakelar pemutus dilengkapi dengan media peredam busur api tersebut.



Gambar 3.4 Pemutus Tenaga ( PMT ) / Circuit Breaker ( CB )

**e. Pemisah ( PMS ) / Disconnect Switch ( DS)**

Berfungsi untuk mengisolasikan peralatan listrik dari peralatan lain atau instalasi lain yang bertegangan. PMS ini boleh dibuka atau ditutup hanya pada rangkaian yang tidak berbeban. Oleh karena itu pemisah tidak boleh dihubungkan atau dikeluarkan dari rangkaian listrik dalam keadaan berbeban. Cara pemasangan PMS dibedakan atas pasangan dalam dan pasangan luar. Tenaga penggerak dari PMS adalah secara manual, motor, pneumatic atau angin dan hidrolis.



Gambar 3.5 Pemisah (PMS)/Disconnect Switch (DS)

**f. Transformator Tegangan**

Trafo tegangan adalah trafo yang berfungsi untuk menurunkan tegangan tinggi menjadi tegangan rendah, yang diperlukan untuk alat-alat ukur (pengukuran) dan alat pengaman (proteksi). Fungsi trafo tegangan (potensial transformer) :

- a. Memperkecil besaran tegangan pada system tenaga listrik menjadi besaran tegangan untuk system pengukuran atau proteksi.
- b. Mengisolasi rangkaian sekunder terhadap rangkaian primer.
- c. Memungkinkan standarisasi rating tegangan untuk peralatan sisi sekunder.



Gambar 3.6 Transformator Tegangan / Potensial Transformer ( PT )

#### **g. Panel Hubung**

Panel hubung ( meja ,switch board ) merupakan pusat syaraf sebagai suatu gardu induk. Pada panel hubung inilah operator dapat mengambil keadaan peralatan,melakukan operasi peralatan serta pengukuran-pengukuran tegangan dan arus,daya dan sebagainya.Bila terjadi gangguan,panel hubung ini pemutus beban secara otomatis melalui rele pengaman dan memisahkan bagian yang terganggu. Karena tegangan dan arus tidak dapat di ukur langsung pada sisi tegangan tinggi, maka transformers ukur(instrument) mengubah menjadi tegangan dan arus rendah,sekaligus memisahkan alat-alat tadi dari sisi tegangan tinggi. Adapun tiga jenis transformator yaitu transformator tegangan, transformator arus ,serta transformator tegangan dan arus.



Gambar 3.7 Panel Hubung

#### **h. Baterai**

Sumber tenaga untuk sistem control dan proteksi selalu mempunyai keandalan dan stabilitas yang tinggi, maka baterai dipakai sebagai sumber tenaga control dan proteksi pada gardu induk. Peranan dari baterai sangat penting karena pada saat gangguan terjadi, baterai sebagai sumber tenaga untuk menggerakkan alat-alat control dan proteksi. Bentuk fisik baterai yang digunakan pada gardu induk menurut bahan elektronik yang digunakan dibedakan menjadi dua, yaitu :

- a) Baterai timah hitam (lead acid storage battery) : elektrolitnya adalah larutan asam belerang. Baterai timah hitam ada dua macam yaitu :
  - 1) Lead-antimony
  - 2) Lead-calcium
- b) Baterai alkali (alkali storage battery) : bahan elektrolitnya adalah larutan alkali (potassium hydroxide). Baterai alkali ada dua macam yaitu :
  - 1) Nickel-iron-alkaline storage battery (NI-Fe battery)
  - 2) Nickel-cadmium battery (Ni-Cd battery).



Gambar 3.8 baterai

#### **i. Arrester**

Arrester adalah suatu peralatan listrik yang berfungsi untuk melindungi peralatan listrik terhadap tegangan lebih akibat surja petir dan surja hubung serta mengalirkan arus surja ke tanah. Pada umumnya pusat pembangkit tenaga listrik menyalurkan energinya melalui saluran transmisi udara dimana saluran transmisi tenaga listrik yang terpasang di udara sangatlah rentan terhadap gangguan yang disebabkan oleh sambaran petir. Sambaran petir ini tidak menghasilkan gelombang berjalan (surja Tegangan) pada saluran transmisi dan pada akhirnya dapat masuk ke pusat pembangkit tenaga listrik. Gelombang berjalan (surja tegangan) selain dihasilkan oleh gangguan petir, juga dapat terjadi karena adanya pembukaan dan penutupan pemutusan tenaga listrik (Open Closing Circuit Breaker) atau adanya switching pada jaringan tenaga listrik. Pada sistem Tegangan Ekstra Tinggi (TET) yang besarnya diatas 350KV – 500KV untuk standart transmisi udara tegangan ekstra tinggi (SUTET) di Indonesia, surja tegangan tinggi ini lebih banyak disebabkan oleh switching tenaga listrik pada jaringan dibandingkan yang disebabkan oleh gangguan petir.

#### **j. Bangunan Gardu Induk**

Gedung Gardu Induk TAMORA adalah jenis gardu induk pemasangan luar, disamping panel hubung dan sumber tenaga untuk control, hanyalah peralatan komunikasi dan kantor yang harus ada di dalam gedung.

### **3.2 Peralatan Yang Diteliti**

Peralatan yang diteliti dalam penelitian ini adalah Trafo dan Arrester .ada 3 jenis tipe arrester yang digunakan di Gardu Induk TAMORA 150 KV, yaitu :

L.A I : ASEA Tipe XAR 170A3/144

L.A II : BOWTHROPE BRIGHTON ENGLAND / IMP 75

L.A III : MCGRAWEDISON/F-30

Dalam penelitian ini pembahasan focus pada Arrester ASEA Tipe XAR 170A3/144 yang terhubung dengan trafo I.



Gambar 3.9 Arrester ASEA Tipe XAR 170A3/144

Untuk Trafo yang ada di Gardu Induk TAMORA 150 KV terdapat tiga tafo yaitu :

Trafo I : UNINDO 906007289

Trafo II : PAUWELS 96P00

Trafo III : PASTI Tipe ORF60/275

Trafo yang diteliti dan dibahas focus pada trafo I merek UNINDO 906007289 yang terhubung dengan arrester ASEA Tipe XAR 170A3/144 .



Gambar 3.10 Trafo type UNINDO 906007289