



BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Umum

Lightning Arrester yang biasanya disingkat dengan LA sering disebut juga penangkal petir, adalah alat pelindung bagi peralatan sistem tenaga listrik dari gangguan tegangan lebih yang diakibatkan oleh sambaran petir (surja petir). Bila surja datang ke gardu induk, arrester bekerja melepaskan muatan listrik (*discharge*), serta mengurangi tegangan abnormal yang akan mengenai peralatan dalam gardu induk tersebut. Setelah surja (petir atau hubung) dilepaskan melalui arrester, arus masih mengalir karena adanya tegangan sistem, arus ini disebut arus dinamik atau arus susulan (*follow current*).

Sesuai dengan fungsinya, maka pada umumnya LA dipasang pada setiap ujung saluran udara tegangan ekstra tinggi (SUTET) antara kawat dan tanah yang memasuki gardu induk (GI). Di gardu induk yang besar ada kalanya pada transformator juga dipasang LA untuk menjamin terlindunginya transformator dan peralatan listrik yang lain dari gangguan tegangan lebih tersebut. Selain melindungi peralatan dari tegangan lebih yang diakibatkan oleh tegangan lebih eksternal, arrester juga melindungi peralatan yang diakibatkan oleh tegangan lebih internal seperti surja hubung, selain itu arrester juga merupakan kunci dalam koordinasi isolasi suatu sistem tenaga listrik. Bila surja datang ke gardu induk arrester bekerja melepaskan muatan listrik serta mengurangi tegangan abnormal yang akan mengenai peralatan dalam gardu induk.

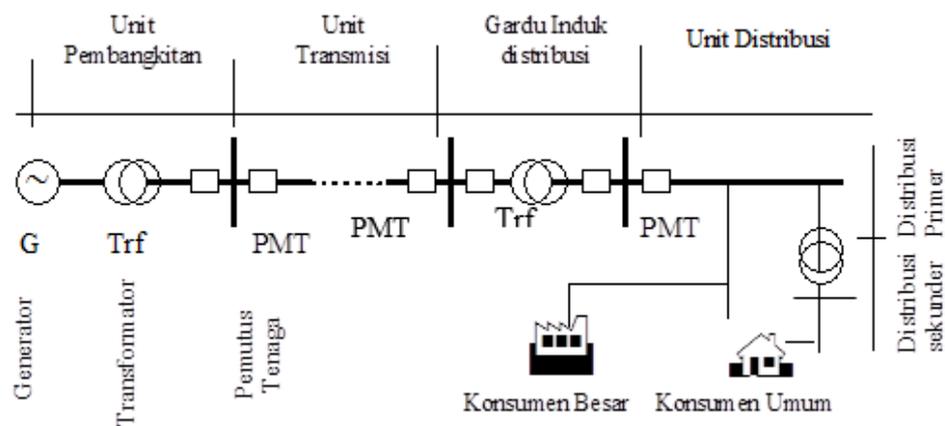
2.2 Gardu Induk¹

Gardu induk di sebut juga gardu unit pusat beban yang merupakan gabungan dari transformator dan rangkain switchgear yang tergabung dalam suatu kesatuan nilai sistem kontrol yang saling mendukung untuk keperluan

¹ [1] Arismunandar Artono. 1979. *Teknik Tegangan Tinggi*. P.T. Pradyana Paramita. 1979

operasional. Pada dasarnya gardu induk bekerja mengubah tegangan yang dibangkitkan oleh pusat pembangkit tenaga listrik menjadi tegangan tinggi atau tegangan transmisi dan sebaliknya mengubah tegangan menengah atau tegangan distribusi.

Gardu induk juga merupakan sub sistem dari sistem penyaluran (transmisi) tenaga listrik, atau merupakan satu kesatuan dari sistem penyaluran (transmisi). Penyaluran (transmisi) merupakan sub sistem dari sistem tenaga listrik. Berarti, gardu induk merupakan sub-sub sistem dari sistem tenaga listrik. Sebagai sub sistem gardu induk mempunyai peranan penting, dalam pengoperasiannya tidak dapat dipisahkan dari sistem penyaluran (transmisi) secara keseluruhan. Pengaturan daya gardu-gardu induk distribusi melalui feeder tegangan menengah.



Gambar 2.1 Single Line Diagram

Gardu induk juga merupakan suatu instalasi yang terdiri dari peralatan listrik yang merupakan pusat beban yang diambil dari saluran Transmisi yang secara spesifik berfungsi untuk:

1. Mentransformasi tenaga listrik dari tegangan tinggi ke tegangan tinggi lainnya atau dari tegangan tinggi ke tegangan menengah.



2. Pengukuran, pengawasan operasi serta pengaturan dari pengamanan dari sistem tenaga listrik.
3. Pengaturan daya ke gardu-gardu induk lainnya melalui tegangan tinggi dan gardu distribusi feeder tegangan menengah.

Pengaturan daya ke gardu-gardu induk lainnya melalui tegangan tinggi dan gardu-gardu induk distribusi melalui feeder tegangan menengah. Gardu induk dapat dibedakan atas tiga hal, yaitu (petunjuk pengoperasian pemeliharaan peralatan untuk instalasi gardu induk, 1995) :

1. Menurut tegangan

- a. 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 30 kV.
- b. Gardu induk distribusi
yaitu gardu induk yang menerima tenaga dari gardu induk transmisi dengan menurunkan tegangannya melalui transformator tenaga menjadi tegangan menengah (20 kV, 12 kV atau 6 kV) untuk kemudian tegangan tersebut diturunkan kembali menjadi tegangan rendah (127/220 V atau 220/380 V) sesuai dengan kebutuhan.

2. Menurut penempatan peralatan

Menurut penempatan peralatannya, gardu listrik dapat dikelompokkan atas beberapa jenis antara lain:

a. Gardu induk pasangan dalam (*indoor substation*)

Gardu induk yang semua peralatannya dipasang didalam gedung atau ruang tertutup. Jenis pasangan dalam ini dipakai untuk menjaga keselarasan dengan daerah sekitarnya dan untuk menghindari bahaya kebakaran dan gangguan suara.



b. Gardu induk pasangan luar (*out door substation*)

Gardu induk yang semua peralatannya berada diluar gedung atau ruang terbuka. Alat control serta alat ukur berada dalam ruangan atau gedung, ini memerlukan tanah yang begitu luas namun biaya kontruksinya lebih murah dan pendinginannya murah.

c. Gardu induk sebagian pasangan luar (*combine out door substation*)

Sebagian peralatan gardu induk jenis ini dipasang dalam ruang tertutup dan yang lainnya dipasang diluar dengan mempertimbangkan situasi dan kondisi lingkungan.

d. Gardu induk pasangan bawah tanah (*underground substation*)

Gardu induk jenis ini umumnya berada dipusat kota. Karena tanah yang tidak memadai jadi semua peralatan dipasang dalam bangunan bawah tanah kecuali pendingin.

e. Gardu induk sebagian pasang dibawah tanah (*semi underground substation*)

Gardu induk jenis ini yang sebagian peralatannya dipasang bawah tanah. Biasanya transformator daya dipasang bawah tanah dan peralatan lainnya dipasang diluar diatas tanah.

f. Gardu induk mobil (*mobile substation*)

Peralatan gardu induk jenis ini diletakkan diatas trailer hingga dapat dipindahkan ketempat yang membutuhkan, biasanya di pakai dalam keadaan darurat dan sementara waktu guna pencegahan beban lebih berskala dan guna pemakaian sementara ditempat pembangunan.



2.3 Klasifikasi Gardu induk

Gardu induk dapat dibedakan atas dua hal, yaitu :

2.3.1 Gardu Induk Konvensional

Gardu Konvensional dapat dibedakan atas :

1. Gardu Induk Pemasangan Luar

Gardu ini semua peralatan tegangan tingginya (transformator utama, switchgear, isolator dan lainnya) ditempatkan diudara terbuka, kecuali komponen kontrol, sistem proteksi, dan sistem kendali, serta komponen bantu lainnya berada didalam gedung.

2.3.2 Gas Insulated Switchgear (GIS)

Gas Insulated Switchgear (GIS) dapat dibedakan atas:

1. Gardu Induk Pemasangan Dalam

Gardu Induk ini hampir semua komponennya (switchgear, bushbar, isolator, komponen control, komponen kendali, cubicle dan lain-lain) dipasang didalam gedung. Kecuali transformator daya pada umumnya dipasang diluar.

GIS merupakan bentuk pengembang gardu induk yang pada umumnya dibangun didaerah perkotaan atau padat pemukiman yang sulit untuk mendapatkan lahan.

Keunggulan GIS dibandingkan Gardu Induk Konvensional :

1. Hanya membutuhkan lahan ± 300 meter persegi $\pm 6\%$ dari luas lahan gardu induk konvensional.
2. Mampu menghasilkan kapasitas daya sebesar 3 x 60 MVA bahkan bisa ditingkatkan sampai dengan 3 x 100 MVA.

^[1] Arismunandar Artono. 1979. *Teknik Tegangan Tinggi*. P.T. Pradyana Paramita. 1979



3. Jumlah penyulang keluaran sebanyak 24 penyulang dengan tegangan kerja masing-masing 20 kV.
4. Bisa dipasang ditengah kota yang ada pemukiman.
5. Keunggulan dari segi estetika dan arsitektural, karena bangunan bisa di desain sesuai kondisi disekitarnya

2.4 Peralatan Gardu Induk^[1]

2.4.1 Transformator Utama

Transformator Utama dipakai untuk menurunkan atau menaikkan teangan digardu induk. Transformator menurunkan tegangan dipusat pembangkit transformator menaikkan tegangan. Ada Jenis transformator yang pertama 1 fasa dan yang kedua 3 fasa. Akhir-akhir ini banyak terlihat kemajuan dalam teknik pembuatan trafo dan keandalan makin baik. Trafo 3 fasa banyak dipakai karena menguntungkan. Demikian pula halnya dengan mengubah penyadap berbeban kemampuannya makin baik, lebih awet dan pemeliharaannya mudah. Oleh karena itu makin banyak dipakai pengubah penyadap berbeban untuk gardu induk dengan tegangan sangat tinggi. Untuk sistem rangkaian tertutup (loop) kadang-kadang dipakai transformator dengan pengubah fasa berbeban untuk mengatur aliran daya.

2.4.2 Current Transformator (CT)

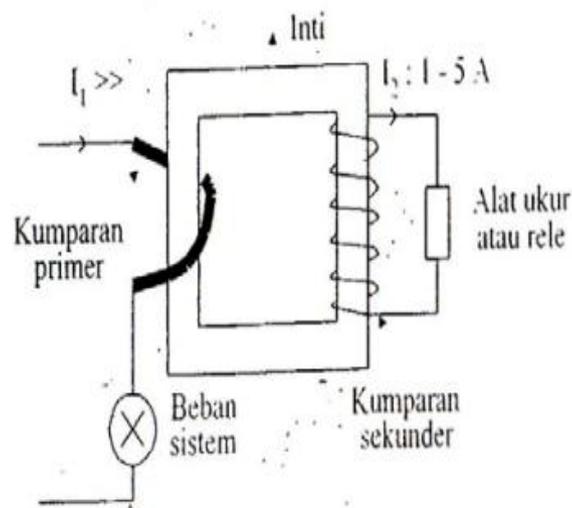
Sistem pengukuran besaran listrik pada jaringan tenaga listrik yang berkapasitas besar harus menggunakan trafo pengukuran yaitu trafo arus (*current transformator*) untuk besaran arus dan merubahnya menjadi besaran pengukuran (*skunder*). Dengan besaran skunder ini maka peralatan ukur (meter dan proteksi) dapatdirancang lebih fleksibel sehingga hasil pengukurannya lebih akurat dan persisi. Trafo arus dapat digunakan untuk pengkuran arus yang besarnya ratusan amper dan arus yang mengalir dalam jaringan tegangan tinggi.

^[1] Arismunandar Artono. 1979. *Teknik Tegangan Tinggi*. P.T. Pradyana Paramita. 1979

Jika arus yang hendak diukur mengalir pada jaringan rendah dan besarnya dibawah 5A, maka pengukuran dapat dilakukan secara langsung dengan menggunakan suatu ammeter yang dihubungkan seri dengan jaringan. Tetapi jika arus yang hendak diukur mengalir pada jaringan tegangan tinggi meskipun besarnya dibawah 5A, maka pengukuran tidak dapat dilakukan secara langsung dengan menggunakan suatu ammeter, karena cara yang digunakan demikian berbahaya bagi operator. Karena pada umumnya, batas kemampuan ammeternya hanya mengukur arus dibawah 5A.

Disamping untuk pengukuran arus, trafo arus juga dibutuhkan untuk pengukuran daya dan energi, pengukuran jarak jauh dan rele proteksi. Kumaran trafo arus dihubungkan seri dengan jaringan atau peralatan yang akan diukur arusnya, sedangkan kumaran skunder dihubungkan dengan meter atau rele proteksi. Pada umumnya peralatan ukur dan rele membutuhkan arus I atau 5 A.

Trafo arus juga bekerja sebagai trafo yang terhubung singkat. Kawasan kerja trafo arus yang digunakan untuk pengukuran biasanya 0,05 sampai 1,2 kali arus yang akan diukur. Trafo arus akan tujuan proteksi biasanya harus mampu bekerja lebih dari 10 kali arus pengenalnya.



Gambar 2.2 Kontruksi Trafo Arus



Perbedaan utama trafo arus dengan trafo daya adalah :

1. Jumlah blitan kumparan primer sangat sedikit, tidak lebih dari 5 belitan.
2. Arus primer tidak dipengaruhi beban yang terhubung pada kumparan skundernya, karena arus primer ditentukan oleh arus pada jaringan yang diukur.
3. Semua beban pada kumparan skunder dibandingkan seri.
4. Terminal skunder trafo arus tidak boleh terbuka, oleh karena itu terminal kumparan skunder tidak selalu dihubungkan dengan beban atau dihubungkan singkat jika bebannya belum dihubungkan.

2.4.3 Potential Transformator (PT)

Trafo tegangan adalah trafo satu fasa step down yang mentransformasi tegangan sistem ke suatu tegangan rendah yang rendah layak untuk penangkapan indikator, alat ukur, rele dan sinkronisasi. Hal ini dilakukan atas pertimbangan harga dan bahaya yang akan di timbulkan tegangan tinggi bagi operator. Tegangan perlengkapan seperti indikator, meter, dan rele dirancang sama dengan tegangan terminal skunder trafo tegangan. Mengisolasi tegangan skunder terhadap rangkaian primer, dengan memisahkan instalasi pengukuran dan proteksi tegangan lebih.

Ada dua jenis trafo tegangan yaitu :

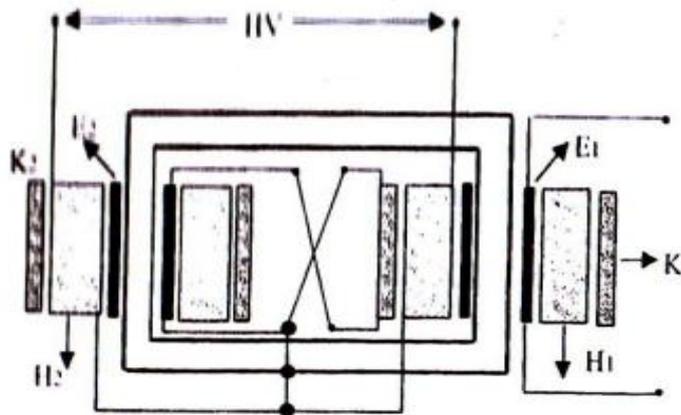
1. Trafo tegangan mekanik
2. Trafo tegangan kapasitif

2.4.3.1 Trafo Tegangan Mekanik

Prinsip kerja trafo mekanik sama dengan trafo daya, meskipun demikian, rancangannya berbeda dalam beberapa hal yaitu :

1. Kapasitasnya kecil (10 – 150VA), karena bebannya hanya alat-alat ukur, rele dan indikator yang konsumsi dayanya kecil.

2. Faktor transformasi dan sudut fasa tegangan primer dengan tegangan sekunder dirancang lebih kecil untuk mengurangi kesalahan pengukuran.
3. Salah satu terminal tegangan tingginya selalu dikebumikan.
4. Tegangan pengenal sekunder trafo tegangan biasanya adalah 100 V atau $100 \sqrt{3}$ V.



Gambar 2.3 Trafo Tegangan Mekanik

Dimana :

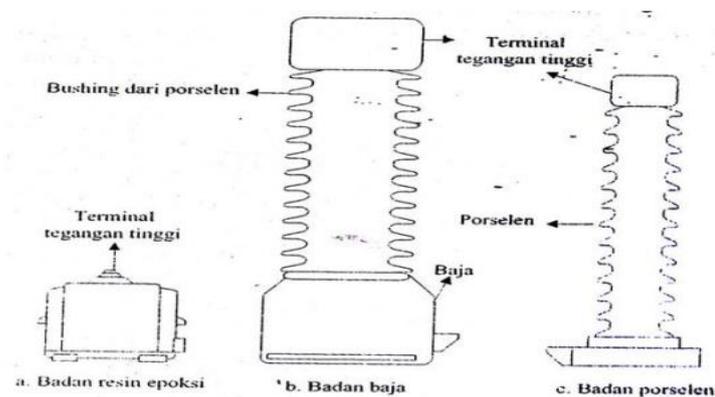
E : Kumputan sksitasi

K : Kumputan kompensasi

H : Kumputan tegangan tinggi

Jenis konstruksi trafo tegangan induktif tergantung pada nilai tegangan operasi dan tempat instalasi. Untuk pemakaian pemasangan dalam, trafo ukur tegangan biasanya diisolasi dengan resin epoksi, dimana semua belitan dan kadang-kadang termasuk inti besi ditenam dalam bahan isolasi, contoh konstruksi isolasi trafo tegangan kutub 10 kV ditunjukkan pada gambar 6.3.a. Untuk operasi pemasangan luar, trafo resin epoksi masih dapat dipakai untuk tegangan pengenal yang tidak terlalu tinggi.

Untuk tegangan yang lebih tinggi dipakai trafo kutub tunggal dengan isolasi minyak-kertas. Rancangan trafo kutub isolasi minyak-kertas terdiri dari jenis tenki logam dengan jenis kerangka isolasi. Pada jenis pertama, badan aktif trafo dengan dimasukkan dalam bejana baja dan dilengkapi dengan bushing untuk melewati tegangan tinggi ke terminalnya (gambar 6.3.b). Pada jenis kedua, badan aktif trafo semua dibungkus dengan porselin (gambar 6.3.c), biasanya digunakan untuk tegangan yang lebih besar dari 66 kV. Pemilihan rancangan ini bergantung pada susunan bahan aktif trafo (inti dan belitan). Dilihat dari segi pemakaian tempat, jenis kerangka isolasi adalah lebih baik karena konstruksinya lebih kecil. Sangat berbeda dengan jenis tangki logam yang harus menggunakan kerangka porselen dengan diameter yang lebih besar.



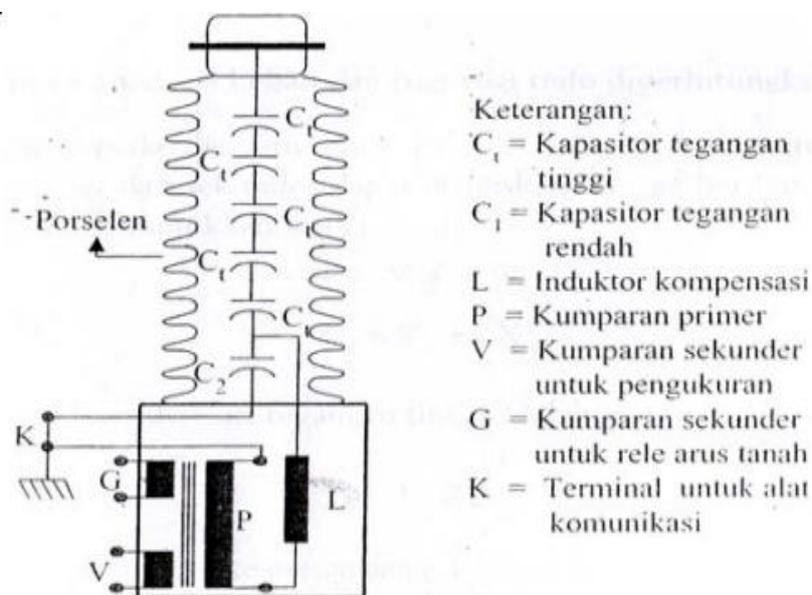
Gambar 2.4 Kontruksi Badan Tegangan Trafo Tegangan

2.4.3.2 Trafo Tegangan Kapasitif

Pada tegangan pengenal yang lebih dari 110 kV, karena alasan ekonomis biasanya digunakan trafo pembagi tegangan kapasitif sebagai pengganti tegangan trafo induktif. Trafo ini akan lebih ekonomis lagi jika digunakan sekaligus untuk keperluan pengukuran tegangan tinggi, sebagai pembawa sinyal komunikasi dan kendali jarak jauh. Menggunakan pembagi kapasitif tegangan tinggi hanya untuk menurunkan tegangan sekunder ke suatu harga standar adalah tidak ekonomis. Oleh karena itu, pembagi tegangan kapasitif menggunakan sebuah trafo magnetik.

Rancangan trafo tegangan kapasitif bertegangan tinggi biasanya adalah seperti ditunjukkan pada gambar 2.5. Beberapa kapasitor gulung dielektrik kertas-minyak dihubungkan seri dan disusun di dalam kerangka porselin yang ramping. Belitan resonansi dan belitan trafo magnetik intermediasi di tempatkan di dalam bejana logam. Terminal K dapat dikebunikan langsung maupun dihubungkan alat komunikasi yang sinyaknya menumpang pada kawat jaringan sistem. Agar efektif sebagai kopling kapasitansi, maks besarnya kapasitansi hubungan seri C_1 dan C_2 harus memiliki nilai minimum 4400 pF.

Trafo tegangan kapasitif lebih murah dari trafo tegangan magnetik untuk tegangan 110 kV dan di atasnya, terutama sekali jika digunakan bersamaan dengan alat komunikasi. Keburukannya terutama adanya induktansi utama dari trafo magnetik yang non-linear. Ossilasi resinansi besi dapat menyebabkan tegangan lebih yang cukup besar dan menghasilkan panas yang tidak diinginkan pada inti magnetik dan belitan. Untuk meredam ossilasi ini dibutuhkan elemen peredam sekalipun hanya berlangsung sesaat.



Gambar 2.5 Trafo Tegangan Kapasitif



2.4.4 Pemutus Tenaga (PMT)

Pemutus tenaga adalah salah satu alat yang terpasang digardu induk yang berfungsi untuk menghubungkan atau memutuskan arus beban dan arus gangguan sesuai ratingnya.

Pemutus Tenaga mempunyai beberapa pengenal (rating) dasar sebagai berikut :

- a. Arus pemutusan dasar
- b. Arus pemutusan dasar asimetris
- c. Kapasitas pemutusan dasar
- d. Waktu pemutusan dasar

banyak macam pemutus tenaga yang dikanal. Pemutus tenaga minyak jenis tangki mempunyai sejarah yang sudah lama, dan telah dibuat untuk tegangan-tegangan sampai 275 kV – 345 kV. Tetapi setelah dikembangkan pemutus tenaga jenis semburan udara (airblast), maksa perlahan-lahan kedudukannya digantikan oleh jenis yang baru ini. Kontak-kontaknya tercelup dalam minyak. Minyaknya berguna untuk menekan api dan juga sebagai bahan isolasi.

Pemutus tenaga jenis minyak volume kecil adalah jenis pemutus tenaga minyak yang kontak-kontak pemutusannya ada di dalam lubang porselin, ukurannya kecil sehingga menghemat bahan.

Pemutus tenaga udara dan pemutus tenaga semburan udara adalah yang tersebut pertama umumnya jenis pemasangan dalam yang biasanya terpasang di dalam kontak hubung tertutup yang tegangan dasarnya antara 3,3 kV – 33 kV. Jenis yang kedua adalah jenis pemasangan luar untuk 33 kV sampai kelas tegangan sangat tinggi. Pada jenis pertama, busur api di padamkan dengan menghembuskan udara kepadanya dan mendorongnya ke dalam ruang pemadaman busur. Jenis kedua di kembangkan di Eropa sesudah perang dunia kedua, dan banyak dipakai untuk penutupan kembali dengan cepat dari saluran



transmisi tegangan tinggi. Bagian pemutusnya terpasang di dalam tabung porselin yang terpasang mendatar. Busur api dipadamkan dengan menyemburkan udara udara tekan pada bagian pemutus. Kembalinya isolasi diantara kutub-kutubnya setelah kontakannya terpisah, terjadi karena udara tekan. Tidak seperti pemutus minyak, pemutus semburan udara tidak memerlukan penggantian minyak yang biasanya merepotkan, kembalinya isolasi setelah padamnya busur juga terjadi dengan cepat, dan karena itu sangat menguntungkan dalam pemutusan arus pemuatan.

Pemutus Gas SF₆ adalah pemutus tenaga yang menggunakan gas SF₆ (sulphur hexa fluoride) sebagai bahan busur api, menggantikan udara tekan. Jenis ini didasarkan atas perkembangan teknologi dalam 20 tahun terakhir, dan memberikan harapan yang menggembirakan dalam pemutusan tegangan tinggi. Pemutus jenis ini memiliki keuntungan bahwa ia tidak terpengaruh oleh keadaan cuaca, tidak membahayakan manusia, hampir tidak memerlukan pemeliharaan dan mudah dipasang. Lagi pula, daya isolasi bahan SF₆ dengan mudah dapat diawasi.

Dalam pemutus beban hembusan magnetis busur api dihembus oleh medan magnet yang dibangkitkan oleh arus yang akan diputus itu sendiri, kedalam ruang pemutus busur pi. Cara ini dipakai terutama untuk tegangan rendah (kurang dari 15 kV). Pemutus tenaganya dipasang didalam kotak buhung tertutup.

Didalam pemutus hampa terdapat suatu wadah yang kehampaan yang tinggi dimana elemen-elemen kontak dibuka dan ditutup diluar. Karena ruang yang hampa sekali mempunyai daya isolasi yang sangat tinggi, gerakan elemen kontak itu sangat kecil. Pemutus jenis ini baru dikembangkan akhir-akhir ini dan merupakan saingan bagi pemutus tenaga hembusan magnetis untuk tegangan kurang dari 15 kV.



2.4.5 Pemisah (PMS)

Pemisah merupakan peralatan yang dirancang untuk memutus arus untuk menyambung sirkit listrik tanpa arus atau dengan arus yang relative kecil dibandingkan dengan arus nominal beban.

PMS merupakan saklar pemisah yang digunakan untuk membebaskan bagian-bagian suatu instalasi dari tegangan atau untuk menukar hubungan. Saklar-saklar ini memiliki kontak-kontak berpegas. Pisau-pisau saklar dijepit antara kontak-kontak itu. Kontruksi kontak-kontak ini harus sedemikian hingga tidak mungkin membuka karena pengaruh gaya-gaya yang timbul kalau terjadi hubung singkat. Penggerak pms dapat berupa mekanik yang dilakukan secara manual atau energy listrik dengan motor-motor listrik, ataupun dengan pneumatic.

Pada umumnya pemisah tidak dapat memutuskan arus. Meskipun ia dapat juga memutuskan arus yang kecil, misalnya arus pembangkit trafo atau arus pemuatan ril, tetapi pembukaan atau penutupannya harus dilakukan setelah pemutus tenaga lebih dulu dibuka. Untuk menjamin bahwa kesalahan urutan operasi tidak terjadi maka harus ada keadaan saling mengunci antara pemisah dengan pemutus tenaga. Didalam rangkaian kontrolnya, rangkaian interlock akan mencegah terjadinya saklar pemisah apabila pemutus tenaganya masih tertutup. Jika dikerjakan dengan tangan (manual), maka untuk mencegah kesalahan kerja, dipakai (lampu) sebagai tanda “boleh dikerjakan” di dekat kotakoprasi yang dikontrol diruang kontrol. Cara lain dengan menggunakan kunci untuk masing-masing kotak kontro atau kunci rangkap.

2.4.6 Lightning Arrester

Arrester adalah alat proteksi bagi peralatan listrik terhadap tegangan lebih yang disebabkan oleh petir atau surja hubung (*switching surge*). Alat ini bersifat sebagai by-pass disekitar isolasi yang membentuk jalan dan mudah dilalui oleh arus kilat ke system pentanahan sehingga tidak menimbulkan tegangan lebih yang tinggi dan tidak merusak isolasi peralatan listrik. By-pass ini harus sedemikian rupa sehingga tidak mengganggu aliran daya system frekuensi 50Hz.



Jadi pada keadaan normal arrester berlaku sebagai isolator, bila timbul tegangan surja alat ini bersifat sebagai konduktor yang tahanannya relative rendah, sehingga dapat melakukan arus yang tinggi ke tanah. Setelah surja hilang, arresterter harus dengan cepat kembali menjadi isolasi.

Sesuai dengan fungsinya, yaitu arrester melindungi peralatan listrik pada sistem jaringan system terhadap tegangan lebih yang disebabkan petir atau surja hubung, maka pada umumnya arrester dipasang pada setiap ujung saluran udara tegangan tinggi yang memasuki gardu induk.

Di gardu induk besar ada kalnya trafo dipasng juga arrester untuk menjamin terlindungnya trafo dan peralatan lainnya dari tegangan lebih tersebut.

2.5 Lightning Arrester ^[2]

Arrester adalah alat proteksi bagi peralatan listrik terhadap tegangan lebih yang disebabkan oleh petir atau surja hubung (*switching surge*). Alat ini bersifat sebagai by-pass disekitar isolasi yang membentuk jalan dan mudah dilalui oleh arus kilat ke system pentanahan sehingga tidak menimbulkan tegangan lebih yang tinggi dan tidak merusak isolasi peralatan listrik. *By-pass* ini harus sedemikian rupa sehingga tidak mengganggu aliran daya sistem frekuensi 50Hz.

Jadi pada keadaan normal arrester berlaku sebagai isolator, bila timbul tegangan surja alat ini bersifat sebagai konduktor yang tahanannya relative rendah, sehingga dapat melakukan arus yang tinggi ke tanah. Setelah surja hilang, arresterter harus dengan cepat kembali menjadi isolasi.

Sesuai dengan fungsinya, yaitu arrester melindungi peralatan listrik pada sistem jaringan system terhadap tegangan lebih yang disebabkan petir atau surja hubung, maka pada umumnya arrester dipasang pada setiap ujung saluran udara tegangan tinggi yang memasuki gardu induk.

^[2] T.S Hutahuruk. *Gelombang Berjalan dan Proteksi Surja*. Erlangga. 1991



Di gardu induk besar ada kalanya trafo dipasang juga arrester untuk menjamin terlindungnya trafo dan peralatan lainnya dari tegangan lebih tersebut.

Persyaratan yang dipenuhi oleh arrester adalah sebagai berikut :

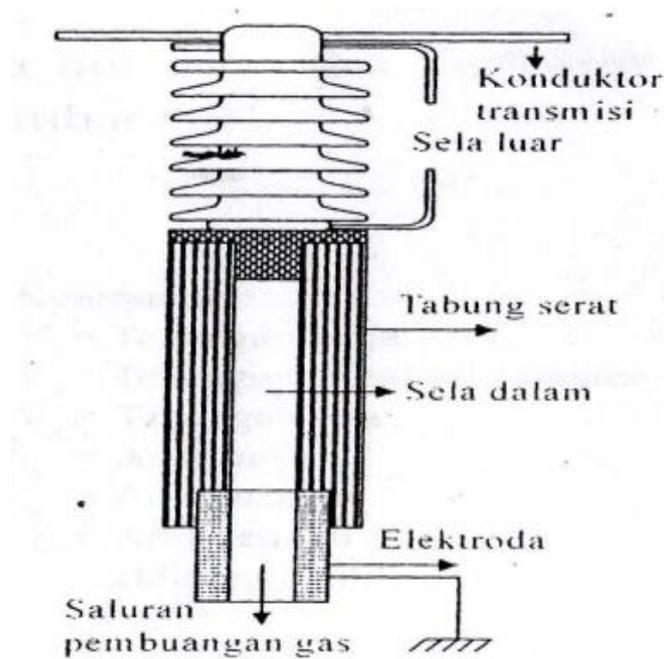
1. Tegangan percikan (*sparkover voltage*) dan tegangan pelepasannya (*discharge voltage*) yaitu tegangan pada terminalnya pada waktu pelepasan harus cukup rendah sehingga dapat mengamankan isolasi. Tegangan percikan tersebut juga tegangan gagal sela (*gap breakdown voltage*) atau jatuh tegangan (*voltage drop*).
2. Arrester harus mampu memutuskan arus dinamik, dan dapat bekerja terus seperti semula. Batas dari tegangan sistem dimana pemutusan arus susulan ini masih mungkin disebut tegangan dasar (*rated voltage*) dari arrester. Kadang-kadang dipakai juga elektroda dengan sela udara disebut juga sela pelindung (*protective gap*) sebagai ganti arrester. Tetapi pada umumnya sela ini tidak dipakai karena tegangan percikanya berubah-ubah tergantung dari keadaan udara dan karena ia tidak mampu memutuskan arus susulan. Sela semacam ini dipakai hanya pada pemisah pada sisi keluar dari suatu saluran transmisi.

Arrester terdiri dari dua jenis yaitu :

2.5.1 Arrester Jenis Ekspulsi

Arrester ini mempunyai dua sela yaitu sela luar dan sela dalam. Sela luar ditempatkan dalam tabung serat. Bila diterminal arrester tiba suatu surja petir, maka kedua sela terpecik. Arus susulan yang terjadi memanaskan permukaan dalam tabung serat. Akibatnya tabung mengeluarkan gas. Arus susulan merupakan arus sinusoidal nol, gas akan memadamkan arus susulan. Arus susulan bertahan paling lama dua periode. Biasanya sudah padam dalam waktu setengah periode setelah arus susulan terjadi . Tetapi pemadaman arus susulan tergantung pada tingkat arus hubung singkat pada lokasi penempatan arrester.

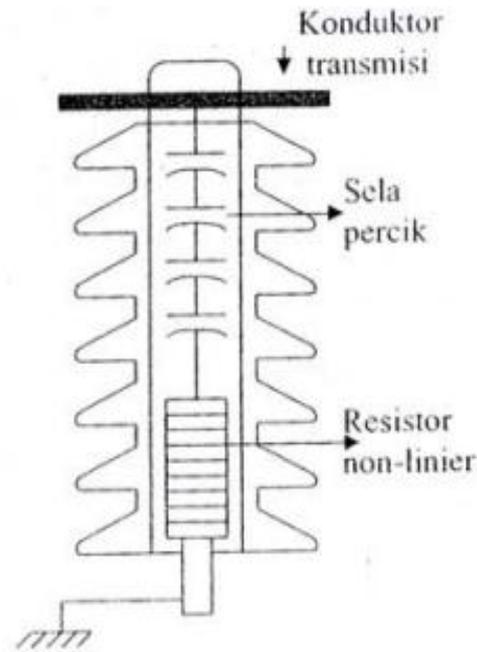
Karakteristik volt-waktu arrester ini lebih baik dari sela batang. Dapat digunakan untuk melindungi trafo distribusi bertegangan 3-15 kV, tetapi belum memadai untuk melindungi trafo daya. Dapat juga digunakan pada saluran transmisi untuk mengurangi besar tegangan surja petir yang masuk ke gardu induk.



Gambar 2.6 Arrester Ekspulsi

2.5.2 Arrester Katup

Arrester ini terdiri atas beberapa sela percik yang dihubungkan seri dengan resistor tak linier. Resistor tak linier mempunyai tahanan yang rendah saat dialiri arus besar dan mempunyai tahanan yang besar saat dialiri arus kecil. Resistor tak linier yang umum digunakan untuk arrester terbuat dari bahan silikon karbid. Sela percik dan resistor tak linier keduanya ditempatkan dalam tabung isolasi tertutup, sehingga kerja arrester ini tidak dipengaruhi oleh keadaan sekitar.



Gambar 2.7 Arrester Katup

2.5.3 Prinsip Kerja Arrester

Lightning arrester merupakan peralatan yang didesain untuk melindungi peralatan sistem tenaga listrik dari tegangan lebih (baik surja hubung maupun surja petir) dan pengaruh *follow current*. Lightning arrester memiliki fungsi utama memotong tegangan lebih yang menuju peralatan sistem tenaga listrik yang dilindunginya. Tegangan lebih ini dapat berupa surja petir, surja hubung, maupun tegangan lebih di dalam sistemnya sendiri. Lightning arrester bersifat *by pass* di sekitar isolasi yang membentuk jalan dan mudah dilalui arus kilat, sehingga tidak timbul tegangan lebih pada peralatan sistem tenaga listrik.

Pada keadaan normal lightning arrester harus mampu bertindak sebagai isolator yang tahanannya tinggi sehingga hanya mengalirkan beberapa miliampere arus bocor dari tegangan sistem ke tanah, namun bila terkena sambaran petir lightning arrester berubah menjadi konduktor yang tahanannya relatif sangat rendah sehingga dapat mengalirkan ribuan ampere arus surja ke tanah. Berdasarkan fungsi lightning arrester sebagai pelindung peralatan sistem tenaga



listrik dari tegangan surja, maka pada umumnya lightning arrester dipasang di setiap ujung SUTT yang memasuki gardu induk. Ada kalanya lightning arrester dipasang pada transformator dan pada peralatan lainnya untuk menjamin terlindungnya peralatan sistem tenaga listrik tersebut dari tegangan lebih.

Bila tegangan lebih habis dan tegangan normal tinggi, 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 menutu arus dari sini didapatkan nama tahanan kran. Karakteristik arus tegangan dari tahanan kran terlihat pada gambar. Pada arrester modern pemadaman arus susulan yang cukup besar (200-300 A) dilakukan dengan bantuan medan magnet. Dalam hal ini makan amplituda maupun lamanya arus susulan dapat dikurangi dan pemadamannya dapat dilakukan sebelum tegangan sistem mencapai harga nol.

Dapat ditambahkan bahwa arus susulan tidak selalu terjadi tiap kali arrester bekerja ada tidaknya tergantung dari saat terjadinya tegangan lebih. Hal ini dapat dimengerti karena arus susulan itu justru dipadamkan pada arus nol yang pertama (atau sebaliknya).

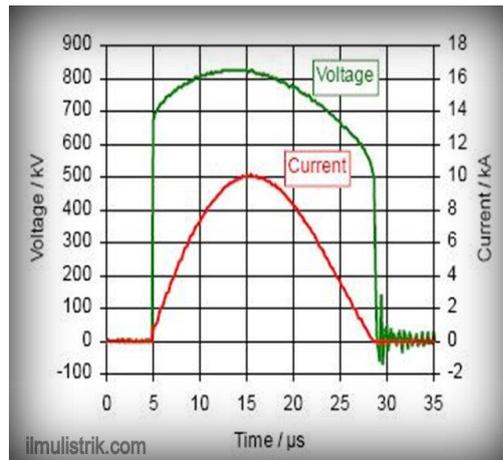
2.5.4 Karakteristik Arrester^[1]

Arrester yang ideal harus mempunyai karakteristik sebagai berikut :

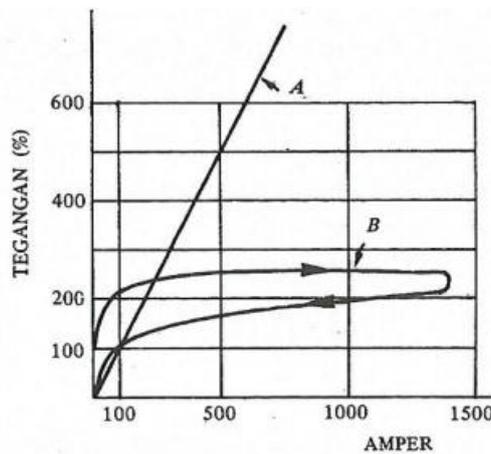
1. Pada sistem tegangan yang normal arrester tidak boleh berkerja.
2. Bila mendapat tegangan transient abnormal diatas harga tegangan tembusnya, harus tembus (*break down*) dengan cepat.
3. Arus pelepasan selama *break down* (tembus) tidak boeh melebihi arus pelepasan nominal supaya tidak merusak.
4. Setiap gelombang transient dengan tegangan puncak yang lebih tinggi dari pada tegangan tembus pandang arrester harus mampi mengaktifkan arrester untuk mengalirkan ke tanah.
5. Arrester harus mampu melakukan arus terpa ke tanah tanpa merusak arrester itu sendiri.

^[1] Arismunandar Artono. 1979. *Teknik Tegangan Tinggi*. P.T. Pradyana Paramita. 1979

6. Pada tegangan operasi normal, harus mempunyai impedansi sangat tinggi atau tidak menarik arus listrik.
7. Arus dengan frekuensi normal harus diputuskan dengan segera apabila tegangan transient telah turun dibawah harga tegangan tembusnya.



Gambar 2.8 Karakteristik volt-ampere dari arrester terhadap waktu



Gambar 2.9 Karakteristik volt-ampere dari element tahan katup



Oleh karena itu sebagai disinggung muka arrester dipakai guna menetapkan BIL (*Basic Isolation Level*), maka karakteristiknya perlu diketahui dengan jelas sebagai berikut. :

1. Arrester mempunyai tagangan dasar (*rated*) yang tidak boleh dilampaui.
2. Arrester mempunyai karakteristik yang dibatasi oleh tegangan (*voltage-limiting*) bila dilalui oleh berbagai macam arus petir.
3. Arrester mempunyai batas termis.

Sudah jelas bahwa arrester adalah sebuah peralatan tegangan dan mempunyai dasar (*rating*) tegangan, maka ia tidak boleh dikenakan tegangan yang melebihi dasar ini, baik dalam keadaan normal maupun dalam keadaan hubung singkat. Sebab arrester ini dalam menjalankan fungsinya harus keadaan hubung singkat, sebab arrester ini menjalankan fungsinya harus menanggung tegangan sistem normal dan tegangan lebih transient.

Karakteristik pembatas tegangan impuls arrester adalah harga yang dapat ditahannya pada terminal pada menyalurkan arus tertentu harga ini berubah dengan besarnya arus. Karakteristik ini harus dapat dikenal pada waktu yang singkat misalnya pada waktu terjadi percikan pada sela bila arrester mulai berkerja (adanya surja), sebelum arus mulai mengalir.

Ciri ketiga yang dulu kurang mendapat perhatian adalah batas termisnya yaitu kemampuan untuk melakukan arus surja hubung, tanpa menaikkan suhunya. Meskipun kemampuan arrester untuk menyalurkan arus sudah mencapai 65.000-100.000 ampere, tetapi kemampuannya untuk melakukan surja hubung terutama bila saluran menjadi panjang dan berisi tenaga besar adalah lebih penting lagi.



Berhubung dengan hal-hal diatas supaya tekanan pada isolasi dapat dibuat serendah mungkin suatu sistem perlindungan tegangan lebih perlu memenuhi persyaratan seperti berikut :

1. Dapat melepas tegangan lebih ke tanah tanpa menyebabkan hubung singkat ke tanah.
2. Dapat memutuskan arus susulan.
3. Mempunyai tingkatan perlindungan (*protective level*) yang rendah, artinya tegangan percika sela dan tegangan pelepasannya rendah. Mula-mula arrester dipakai semata-mata untuk melindungi isolasi terhadap surja petir. Kebutuhan untuk menurunkan biaya pada waktu tegangan sistem naik menyebabkan penurunan tingkat isolasi dan tingkat perlindungan arrester.

2.5.5 Pemasangan Arester

Pemakaian arester dalam koordinasi isolasi dapat memberikan hasil yang maksimal perlu diperhatikan azas-azas sebagai berikut :

- 1). Seperti yang telah disinggung di muka tegangan dasar dari arester dipilih sedemikian rupa sehingga nilainya tidak dilampaui saat terjadi hubung singkat maupun dalam keadaan normal.
- 2). Arester ini akan memberikan perlindungan bila selisih (*margin*) yang cukup antara arester dan peralatan.

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, diantaranya adalah :

- a). Arester harus dipasang sedekat mungkin dengan peralatan utama.
- b). Tahanan tanahnya harus rendah serta kapasitas arester harus dapat meneruskan arus besar yang berasal dari simpanan tenaga yang terdapat dalam saluran yang panjang.



- c). Jatuh tegangan maksimum dari arester dipakai sebagai tingkat perlindungan arester.
- d). Pengaruh dari sejumlah kawat dalam melindungi bahaya petir maupun surja hubung perlu diperhatikan untuk pemasangan arester.
- e). Bila ada keragu-raguan mengenai kemampuan 50 c/s dari arester, maka jumlah persentase ditambahkan pada harga yang dihitung atau ditetapkan untuk arester. Sekarang masih dipakai 10% sebagai faktor keamanan, juga untuk menanggulangi kemungkinan saat arester bekerja terdapat sebuah tegangan peralihan mungkin tertumpuk pada tegangan 50 c/s, tegangan ini harus diinterupsi pada arester tersebut.

2.5.6 Tegangan Nominal (Rating) Arrester^[2]

Tegangan nominal atau tegangan pengenalan adalah tegangan dimana arrester dapat bekerja sesuai dengan karakteristiknya. Arrester tidak boleh bekerja pada tegangan maksimum sistem yang direncanakan, tetapi masih mampu memutuskan arus ikutan dari sistem secara efektif.

Arrester umumnya tidak boleh bekerja jika ada gangguan fasa ke tanah di satu tempat dalam sistem, karena itu tegangan pengenalan dari penangkap petir harus lebih tinggi dari tegangan fasa ke tanah, jika tidak demikian maka arrester akan melakukan arus ikutan sistem yang terlalu besar yang menyebabkan arrester rusak akibat beban lebih termis.

Untuk mengetahui tegangan maksimum yang mungkin terjadi pada fasa sehat ke tanah sebagai akibat gangguan satu fasa ke tanah perlu diketahui :

1. Tegangan sistem tertinggi (*system highest voltage*), umumnya diambil harga 105-110% dari tegangan nominal sistem.
2. Koefisien pentanahan 0,8 di definisikan sebagai perlindungan antara tegangan rms fasa sehat ke dalam tanah dalam gangguan pada tempat

^[2] T.S Hutahuruk. *Gelombang Berjalan dan Proteksi Surja*. Erlangga. 1991



dimana arrester dipasang. Dengan tegangan rms fasa ke tanah tertinggi dari sistem dalam gangguan keadaan tidak ada gangguan.

Sehingga untuk menghitung besarnya tegangan nominal atau tegangan pengenal arrester dapat digunakan persamaan :

$$E_r = a \cdot \beta \cdot U_m \dots\dots\dots(2.1)$$

Dimana : E_r = Tegangan dasar arrester

a = Koefisien pentanahan 0,8

β = Toleransi, untuk perhitungan fluktansi tegangan (105-110%)

U_m = Tegangan normal sistem

Untuk hasil yang didapatkan dari perhitungan dengan menggunakan rumus diatas harus sesuai dengan tabel. Apabila pada tabel tersebut dapat nilai yang sama dengan hasil perhitungan, maka nilai tegangan pengenal arrester menggunakan nilai yang sama tersebut, tetapi apabila hasil yang didapat berdasarkan perhitungan tidak ada tabel tersebut, maka besar tegangan dari arrester yang digunakan diambil satu tingkat lebih tinggi dari hasil.

2.5.7 Pengeratapan Arrester Serta Jarak Antara Arrester dengan Peralatan Yang Dilindungi

2.5.7.1 Pengeratapan Arrester

Agar Pemakaian Arrester dalam koordinasi isolasi dapat memberikan hasil yang maksimal, maka perlu dilakukan hal-hal berikut :

1. Tidak melampaui nilai 50 Hz pada waktu pemakaian, baik dalam keadaan normal maupun gangguan.
2. Arrester akan memberikan perlindungan jika ada selisih yang cukup antara tingkat arrester dan peralatan.



3. Arrester harus dipasang sedekat mungkin dengan peralatan dengan peralatan utama dan tahanan tanahnya rendah.
4. Kapasitas termis arrester harus dapat meneruskan arus yang besar yang berasal dari saluran panjang.
5. Jatuh tegangan maksimum dari arrester dipakai sebagai perlindungan arrester (bukan jatuh tegangan rata-rata).
6. Sebuah harga tegangan pelepasan arrester harus dapat ditetapkan untuk menentukan tingkat perlindungan arrester yang harus dikoordinasikan dengan BIL.
7. Pengaruh dari sejumlah kawat fasa dapat melindungi kegawatan petir pada gardu induk tidak perlu diperhatikan pada pengeratapan arrester.

2.5.7.2 Jarak Arrester Dengan Alat Yang Dilindungi

Meskipun yang paling penting adalah menempatkan arrester sedekat mungkin dengan alat-alat yang dilindungi, tetapi dalam praktek kadang-kadang hal ini tidak memungkinkan. Jika jarak itu terlalu jauh, tegangan abnormal yang sampai terminal dari peralatan akan lebih tinggi dari pada tegangan pelepasan arrester.

Untuk Menentukan jarak maksimum yang diizinkan antara arrester dengan peralatan yang akan di lindungi dikenal beberapa metode. Salah satunya adalah metode pantulan berulang. Metode adalah metode pendekatan yang dapat digunakan untuk menentukan jarak maksimum arrester dan peralatan dimisalkan hanya ada satu saluran yaitu keadaan yang berbahaya adalah sebagai berikut :

$$E_p = E_a + 2.A \times \frac{S}{v} \dots\dots\dots(2.2)$$

Dimana :

$$E_p = \text{Tegangan pada jepitan transformator (kV)}$$



E_a = Tegangan Percik Arrester (kV)

$A = \frac{d_e}{d_t}$ = Kecuraman Gelombang datang, dan dianggap konstan (kV/ μ s),
dan berdasarkan dari rekomendasi standard IEC, umumnya dipakai
500 kV/ μ s

S = Jarak arrester dan transformator (m)

v = Kecepatan gelombang berjalan sepanjang saluran dengan kecepatan
cahaya 300 (m/ μ s)

Jika E_p adalah harga tegangan dari tingkat isolasi dasar, maka jarak trafo
lindung arrester adalah :

$$S = \frac{E_p - E_a}{2.A} \times v \dots\dots\dots (2.3)$$