BAB II
TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Transformator

Dalam pusat listrik yang besar biasanya terdapat banyak transformator , macam-macam transformator ini adalah[1] :

a. Transformator penaik tegangan generator

Karena teknologi membuat kumparan generator sinkron tiga fasa samapai saat ini paling tinggi baru mencapai 23 kV, apabila rel dalam pusat listrik menggunakan tegangan di atas tegangan generator, maka tegangan dari generator perlu di naikkan terlebih dahulu melalau transformator penaik tegangan sebelum dihubungkan ke rel tersebut. Transformator penaik tegangan generator umumnya dianggap merupakan satu kesatuan dengan generator terutama dari segi proteksi.

b. Transformator unit pembangkit

Setiap unit pembangkit yang besar umumnya mempunyai transformator unit pembangkit, yaitu transformator yang mengambil daya langsung dari generator untuk memasok alat-alat bantu unit pembangkit yang bersangkutan, seperti : motor pompa pendingin, motor pompa minyak pelumas, dan lain-lain.

c. Transformator pemakaian sendiri

Transformator pemakaian sendiri mendapat pasokan daya dari rel pusat listrik kemudian memasok daya ke rel pemakaian sendiri. Rel pemakaian sendiri digunakan untuk memasok instalasi penerangan, baterai aki, mesin-mesin bengkel, mesin perangkat, dan alat-alat bantu unit pembangkit pada periodestart

d. Transformator antarrel

Jika di dalam pusat listrik ada beberapa rel dengan tegangan operasi

[1]Pujiyanto, 2009 *Studi Penentuan Rating Arrester dan Jarak Optimum Antara Arraster Dengan Pemutus Daya dan Transformator Daya Di Gardu Induk Siantan.*Skripsi.Fakultas teknik. Universitas Tanjungpura

yang berbeda-beda, maka ada transformator antar rel. Adanya rel-rel dengan tegangan yang berbeda dapat disebabkan karena perkembangan sistem tenaga listrik dan juga dapat terjadi karena diperlukan rel tegangan menengah (anatara 6kV sampai 40kV) untuk keperluan distribusi di daerah sekitar pusat listrik selain rel tegangantinggi (di atas 60 kV) untuk saluran transmisi jarak jauh.

2.2 Lightning Arrester

Lightning Arrester adalah suatu alat pelindung bagi peralatan system tenaga listrik terhadap surya petir. Alat pelindung terhadap gangguan surya ini berfungsi melindungi peralatan system tenaga listrik dengan cara membatasi surja tegangan lebih yang datang dan mengalirkannya ke tanah.[2]

Berhubung dengan fungsinya itu ia harus dapat menahan tegangan system 50 Hz untuk waktu yang terbatas dan harus dapat melewatkan surja arus ke tanah tanpa mengalami kerusakan. Ia berlaku sebagai jalan pintas sekitar isolasi. *Arrester* membentuk jalan yang mudah untuk dilalui oleh kilat atau petir, sehingga tidak timbul tegangan lebih yang tinggi pada peralatan.

Selain melindungi perlatan dari tegangan lebih yang diakibatkan oleh tegangan lebih external, *arrester* juga melindungi peralatan yang diakibatkan oleh tegangan lebih internal seperti surja hubung, selain itu arrester juga merupakan kunci dalam koordinasi isolasi suatu system tenagan listrik. Bila surja dating ke gardu induk arrester bekerja melepaskan muatan listrik serta mengurangi tegangan abnormal yang akan mengenai peralatan dalam gardu induk.

Persyaratan yang harus dipenuhi oleh *arrester* adalah sebagai berikut :

Tegangan percikan (*sparkover voltage*) dan tegangan pelepasannya (*discharge voltage*), yaitu tegangan pada terminalnya pada waktu

---

[2]*Ibid*

pelepasan, harus cukup rendah, sehingga dapat mengamankan isolasi peralatan.

Tegangan percikan disebut juga tegangan gagal sela (*gap breakdown voltage*) sedangkan tegangan pelepasan disebut juga tegangan sisa (*residual voltage*) atau jatuh tegangan (*voltage drop*).

2.3 Pengertian Arrester

Lightning Arrester merupakan suatu peralatan listrik yang berfungsi untuk melindungi peralatan listrik lain dari tegangan surja (baik surja hubung maupun surja petir). Surja mungkin merambat di konduktor pada saat peristiwa sebagai berikut:

Kegagalan sudut perlindungan petir, sehingga surja petir mengalir di dalam konduktor phasa.

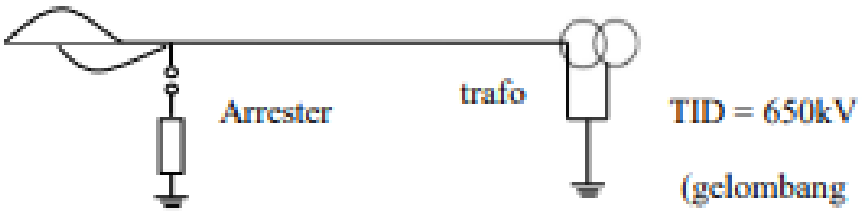
Backflashover akibat nilai pentanahan yang tinggi, baik di saluran transmisi ataupun di gardu induk.

Proses switching DS atau CB (surja hubung).

Gangguan phasa-tanah, ataupun fasafasa baik pada di gardu induk maupun pada saluran transmisi.

Pada saat terjadi surja, travelling wave/gelombang berjalan merambat pada penghantar sistem transmisi dengan kecepatan mendekati kecepatan cahaya.Surja dengan panjang gelombang dalam orde mikro detik berbahaya jika nilai tegangan surja yang tiba di peralatan lebih tinggi dari level TID (Tingkat Isolasi Dasar) peralatan. Lightning Arrester dipasang untuk memotong tegangan surja dengan cara mengalirkan arus surja ke tanah dalam waktu yang sangat singkat, dimana pengaruh follow current tidak ikut serta diketanahkan.

2.3.1 Analisa Kerja Lightning Arrester



Gambar 2.1 Skema Sederhana Arrester

Sambaran petir yang menyambar saluran dapat menyebabkan gelombang berjalan pada saluran kawat.Rambatan terdiri dari surja tegangan dan surja arus dengan kecepatan yang bergantung pada konstanta kawat saluran. Pada saat surja mencapai titik peralihan akan terjadi kenaikan pada gelombang tersebut sehingga terdapat beberapa perbedaan dengan gelombang asal.

Pada saat adanya tegangan lebih pada kawat fasa arrester sudah mulai bekerja pada saat tegangan yang masuk ke arrester sudah mencapai level 0,3 p.u sampai 0,5 p.u. Pada saat tegangan yang masuk ke arrester dan sudah mencapai angka 0,5 arrester harus sudah bekerja memotong tegangan lebih yang masuk dan langsung mengalirkannya ke tanah. Bila saat melewati angka 0,5 p.u arrester belum memotong tegangan lebih maka arrester di katakan gagal. Besar impedansi surja untuk kawat udara = 400 – 600 ohm, dan untuk kabel = 50 – 60 ohm.

2.3.2 Pengaruh Surya Petir TerhadapTransformator

Dalam suatu sistem tenaga listrik banyak terdapat peralatan listrik yang harus dilindungi dari pengaruh surja Petir akan tetapi disini ditekankan pada suatu peralatan utama yang paling penting dan harus dilindungi dari sambaran surja Petir yaitu transformator. Karena selain peralatan pokok dalam penyaluran tenaga listrik juga merupakan

peralatan listrik yang paling mahal, bila transformator rusak akan membutuhkan waktu yang lama dalamperbaikannya.

Tegangan lebih yang terjadi pada transformator tergantung dari bentuk gelombang elektromagnetiknya. Gelombang ini dapat disebabkan oleh surja Petir yang sampai ke peralatan transformator, tegangan lebih tersebut bisa terjadi di dalam transformator, apabila tegangan antara kumparan-kumparan tersebut menjadi beberapa kali dari tegangan normalnya. Dari pengalaman telah membuktikan bahwa lilitan yang paling dekat dengan terminal transformator adalah yang sering rusak karena tegangan lebih (sambaran surja Petir).

Tembusnya isolasi dapat terjadi pada beberapa titik dari kumparan, tergantung dari karateristik isolasinya, misalnya tidak homogennya isolasi pada titik tersebut, dengan tembusnya isolasi dapat dianggap bahwa transformator tersebut telah rusak dan akan menggangu pelanyanan penyaluran energi listrik terhadap masyarakat (konsumen).

Jika sebuah gelombang berjalan yang ditimbulkan oleh sambaran Petir menuju ke transformator maka Transformator akan lebih bersifat sebagai rangkaian kapasitif dari pada rangkaian induktif. Surja Petir mempunyai muka gelombang yang sangat curam, sehingga dalam waktu yang sangat pendek tidak mungkin arus mengalir pada induktansi yang berharga besar dari gulungan Transformator. Tetapi terdapat kapasitansi antara gulungan Transformator ke inti besi dari Transformator, hal ini menyebabkan Transformator berreaksi sebagai beban kapasitif terhadap gelombang berjalan yang disebabkan tegangan lebih Petir[3].

Setiap lilitan dari kumparan transformator mempunyai self induktance (induktasi sendiri), karena adanya fluksi ketika dialiri arus. Lilitan yang satu berdekatan dengan yang lain sehingga akan ada mutual induktansi (induktansi gandeng), karena adanya *eddy current* (arus eddy) di dalam Transformator maka induktansi yang lain antara inti dan inti juga

---

[3]*Ibid*

diperhitungkan. Disamping itu setiap lilitan dari kumparan transformator mempunyai kapasitansi terhadap tangki dan kapasitansi antara lilitan satu dengan yang lain. Kapasitansi gandeng antara sederetan kumparan adalah yang paling tinggi dalam transformator.

Karena adanya kerugian dalam tahanan isolasi serta kerugian pada inti, surja yang datang pada kumparan akan terendam. Untuk mendapatkan gambaran permasalahan tersebut dibuat pendekatan sebagai berikut :

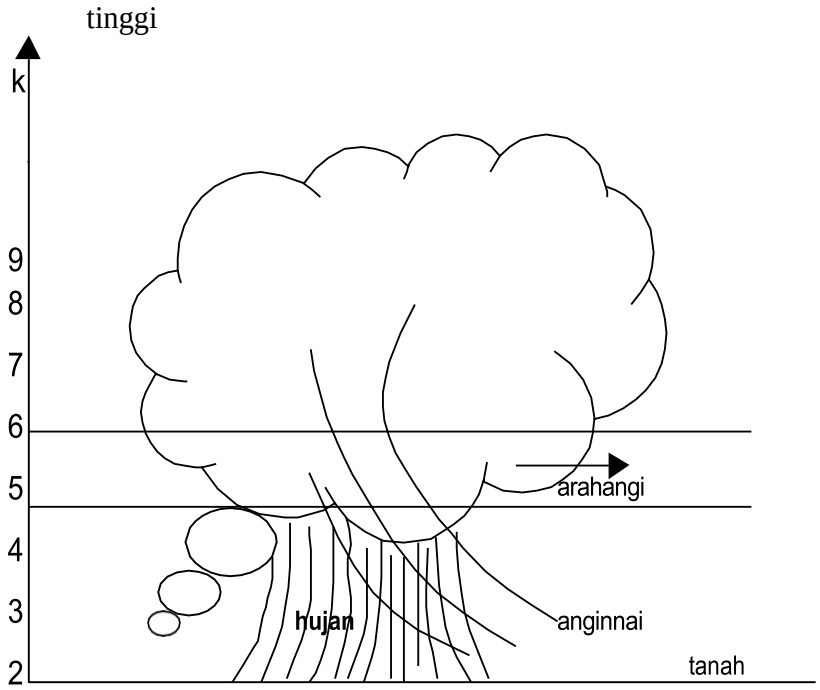
a. Semua Kerugian karena tahanan kumparan, tahanan isolasi dan kerugian intidiabaikan
b. Kapasitansi antara kumparan (kapasitansi seri) dan kapasitansi antara lilitan dengan tangki (kapasitansi paralel) adalah penting untuk menentukan keadaan awal dan keadaan akhir dari distribusitegangan

2.4 Surja Petir

Suatu Petir bisa terjadi apabila ada awan yang bermuatan berada diatas bumi dalam jarak tertentu. Pada awan tersebut, muatan positif mengumpul pada bagian atas dan yang negatif berada disebelah bawah.

`Karena bumi dikatakan sebagai benda yang mempunyai muatan positif pada permukaannya. Oleh karena itu muatan negatif yang berada dibagian bawah awan akan tertarik oleh muatan positif yang ada di bumi, proses pengaliran muatan negatif dari awan menuju kebumi inilah yang dinamakanPetir.Muatan cenderung berkumpul pada tempat-tempat yang runcing, sehingga Petir cenderung pula menuju pada tempat-tempat tersebut. Mengingat besar/banyaknya elektron yang mengalir, maka disini akan mengalir pula arus listrik yang sangat besar sekali, nilainya dapat mencapai ratusan kilo Ampere. Awan bermuatandapat terbentuk jika pada suatu daerah terdapat udara yang lembab dan gerakan angin keatas. Kelembapan ditimbulkan karena adanya pengaruh sinar matahari yang menyebabkan terjadinya penguapan air diatas permukaan tanah, uap air udara panas ini akan naik keatas karena adanya updraft (gerakan keatas)

dari udara yang membentuk lapisan-lapisanawan[4].Untuk gambar proses terjadinya Petir dapat dilihat pada gambar.2.2. dibawah ini:



Gambar 2.2. Proses terjadinya petir

Pergerakan udara keatas terus menerus ini akan menyebabkan terjadinya pembentukan awan bermuatan dengan diameter beberapa kilometer dengan ketinggian hingga mencapai sekitar 10 km dan bagian awan terendah umumnya terletak antara 1 sampai 2 km diatas tanah sambaran Petir juga dibagi atas dua bagian :

2.4.1 Cara Masuknya Petir Keperalatan

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

[4]Hutauruk, T.S. 2001. *Gelombang Berjalan dan Proteksi Surja*.Erlangga. Jakarta

2.4.2 Sambaran Langsung

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

2.4.3 Sambaran Jauh

Sambaran jauh adalah sambaran yang misalnya meyambar hantaran udara atau induksi dari pelepasan muatan Petir awan pada hantaran udara atau sambaran dekat dengan hantaran udara sehingga timbul gelombang berjalan (*electromagnetic wave*) yang menuju keperalatanlistrik.[5]

2.4.4 Sambaran Tidak Langsung atau Induksi

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

2.5 Perlindungan Pusat Listrik Terhadap Petir

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

Saluran udara rawan terhadap sambaran petir yang menghasilkan gelombang berjalan (surja tegangan) yang dapat masuk ke pusat listrik.

---

[5]*Ibid*

Oleh karena itu, dalam pusat listrik harus ada *lightning arrester* (penangkal petir) yangberfungsi menangkal gelombang berjalan dari petir yang akan masuk ke instalasi pusat listrik.

Gelombang berjalan juga dapat berasal dari pembukaan dan penutupan pemutus tenaga (*switching*). Pada sistem dengan tegangan ekstra tinggi / TET (di atas 350 kV), surja tegangan karen *switching* lebih besar dari pada surja petir.[6]

Saluran udara yang keluar dari pusat listrik merupakan bagian instalasi pusat listrik yang paling rawan sambaran petir dan karenanya harus diberi lightning arrester. Selain itu, lightning arrester harus berada di depan setiap transformator dan harus terletak sedekat mungkin dengan transformator. Hal ini perlu karena surja petir yang merupakan gelombang berjalan menuju transformator akan melihat transformator sebagai suatu ujung terbuka (karena transformator mempunyai isolasi terhadap bumi / tanah) sehingga gelombang pantulannya akan saling memperkuat dengan gelombang yang datang. Untuk mencegah terjadinya hal ini, lightning arrester harus dipasang sedekat mungkin dengantransformator.

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

Tingkat isolasi dasar arrester harus berada di bawah tingkat isolasi transformator agar apabila sampai terjdi *flashover*, maka flashover diharapkan terjadi pada arrester dan tidak pada transformator.

Transformator adalah bagian pusat listrik yang paling mahal dan rawan terhadap sambaran petir. Selain itu, apabila terjadi kerusakan transformator, maka daya dari pusat listrik tidak dapat sepenuhnya

---

[6]Anonim.2014. *Buku PanduanPemeliharaan Primer dan Sekunder Gardu Induk*. KEPDIR

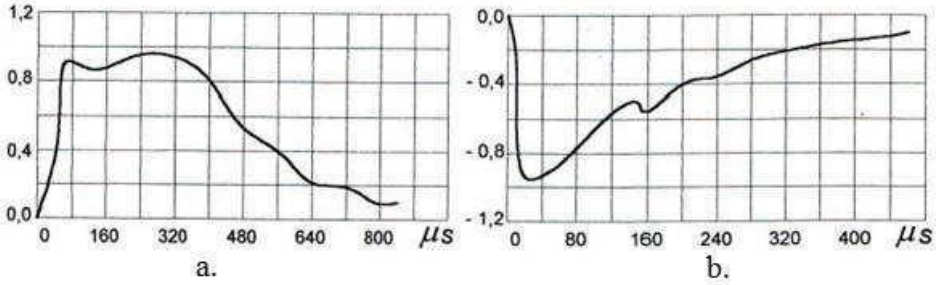
disalurkan[7].

Salah satu perkembangan dari lightning arrester adalah penggunaan oksida seng ZnO_2 sebagai bahan yang menjadi “katup” atau *valve arrester*. Dalam menentukan rating arus *arrester*, sebaiknya dipelajari statistik petir setempat, misalnya apabila statistik menunjukan distribusi probabilitas petir yangterbesar adalah petir 15 kiloampere, maka rating arrester diambil 15 kilo ampere.

2.6 Bentuk Gelombang Arus Petir

Bentuk gelombang arus petir ini menggambarkan besar arus, kecuraman kenaikan arus, serta lamanya kejadian durasi gelombang, dinyatakan oleh waktu ekor. Pada kenyataannya, bentuk gelombang arus petir tidak sama persis antara satu dengan yang lainnya. Bukan saja antara satu kejadian dengan kejadian lainnya, akan tetapi pada satu kejadian kilat dengan sambaran ganda, bentuk gelombang arus petirnya bias berbeda cukup lumayan, antara sambaran pertamadengan sambaran susulan.

Pada kenyataanya, bentuk gelombang arus petir tidak sama persis antara satu dengan yang lainnya. Bukan saja antara satu kejadian dengan kejadian lainnya, akan tetapi pada satu kejadian kilat dengan sambaran ganda, bentuk gelombang arus petirnya bisa berbeda cukup lumayan, antara sambaran pertama dengan sambaran susulan. Kejadian terutama pada petir negatif yang sebagian besar selalu ada subsequentstroke-nya.



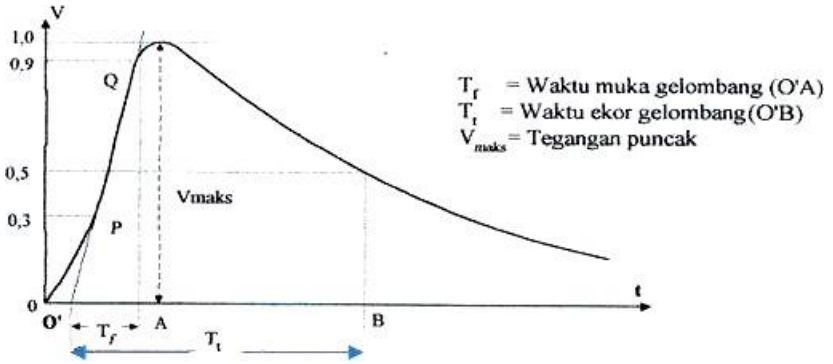
Gambar 2.3. Osilogram bentuk gelombang arus petir

[7]Tobing, L., Bonggas. 2012. *Peralatan Tegangan Tinggi*. Edisi Kedua. Erlangga. Jakarta

(a) Petirpositif (b) Petirnegatif

Karena ada perbedaan tersebut, maka bentuk standar gelombang arus petir berbeda beda untuk suatu negara atau lembaga, misalnya standar Jepang (JIS), atau Jerman (VDE), Inggris (BS) dan sebagainya. Untuk internasional biasanya mengacu pada IEC[8].

Bentuk gelombang arus petir dinyatakan dalam dua besaran yakni, waktu muka (T_f) yang menyatakan lamanya muka gelombang (*front duration*) dan kecuraman arus, serta waktu ekor (T_t).



Gambar 2.4.Bentuk gelombang impuls petir standar

Definisi muka gelombang (*wave front*) dan ekor gelombang (*wave tail*) ditetapkan dalam standar-standar yang telah ada. Menurut standar Jepang (1994) titik nol nominal dari sebuah tegangan impuls adalah perpotongan antara sumbu waktu dengan garis lurus yang menghubungkan dengan titik-titik 10% dan 90% dari tegangan puncak.

Menurut rekomendasi International Electrotechnical Commission

[8]Ismail.2002. *Studi Perlindungan Kawat Tanah Pada Gardu Induk Terhadap Sambaran Petir Langsung Dengan Metode Rolling Sphere.*Skripsi. Fakultas Teknik. Universitas Tanjungpura.

(IEC), angkanya berturut-turut adalah 30% dan 90%. Muka gelombang didefinisikan sebagai bagian dari gelombang yang dimulai dari titik nol sampai titik puncak, sedang sisanya disebut ekor gelombang. Setengah puncak gelombang adalah titik-titik pada muka dan ekor dimana tegangannya adalah setengah puncak (titik 0.5). Menurut standar Jepang lamanya muka gelombang didefinisikan sebagai hasil bagi antara lamanya tegangan naik dari 10% sampai 90% dari puncak dan 0.8.

Waktu sampai setengah puncak dari ekor gelombang didefinisikan sebagi waktu dari titik nol nominal sampai setengah puncak pada ekor. Kecuraman muka gelombang adalah kecepatan naiknya tegangan pada mukagelombang.

Kecuraman muka rata-rata dinyatakan sebagai perbandingan antara tegangan puncak dan lamanya muka gelombang.

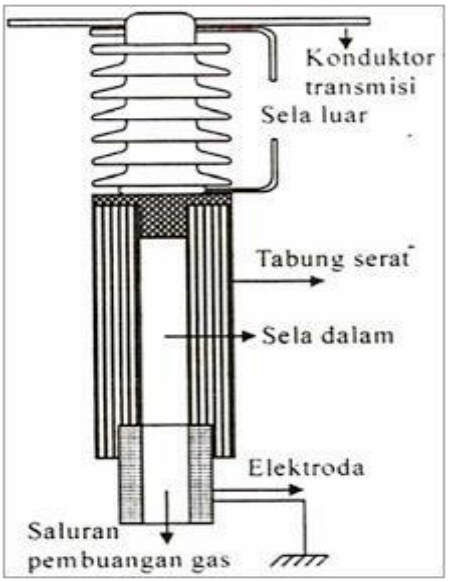
2.7 Kecuraman Gelombang (*Steepness*)

Kecuraman gelombang merupakan salah satu parameter paling penting. Parameter ini menyatakan kecepatan kenaikan arus petir dalam setiap satuan waktu (*di/dt*). Semakin besar nilai arus dalam setiap satuan waktu, berarti semakin curam bentuk gelombang arusnya dan makin pendek durasi muka gelombang (*frontduration*).

2.8 Jenis Ekspulsi

Arrester jenis ini mempunyai dua jenis sela, yaitu sela luar dan sela dalam. Sela dalam diletakkan di dalam tabung serat. Ketika pada terminal arrester tiba suatu surja petir, maka kedua sela tepercik. Arus susulan memanaskan permukaan dalam tabung serat, sehingga tabung akan mengeluarkan gas. Arus tersebut merupakan arus yang berbentuk sinusoidal, sehingga suatu saat pasti akan mencapai siklus dengan nilai nol.

Ketika mencapai nol, maka gas pada tabung akan menjadi isolasi yang akan memadamkan arus tersebut. Arrester jenis ini mampu melindungi trafo distribusi dengan rating tegangan 3-15kV, tetapi belum mampu melindungi trafo daya yang memiliki rating daya lebih besar. *Arrester* jenis ekspulsi ini dapat juga dipasang pada saluran transmisi hantaran udara untuk mengurangi gangguan surja petir yang masuk ke gardu induk.



Gambar 2.5. Konstruksi arrester jenis ekspulsi

2.8.1 Jenis Katup

Arrester jenis ini berupa beberapa sela percik yang dihubungkan seri dengan resistor tak linier. Resistor tak linier akan memiliki tahanan yang rendah ketika dialiri arus besar dan tahanan akan menjadi besar ketika arus kecil. Resistor yang umum digunakan berasal dari bahan silikon karbid. Sela percik dan resistor tak linier ditempatkan pada tabung isolasi

sehingga arrester ini tak dipengaruhi udara luar.[9]

Metode pengamanan pada *arrester* ini adalah, ketika terjadi surja petir dan sela *arrester* akan tepercik maka akan ada arus masuk yang cukup besar pada *arrester*. Karena resistor yang digunakan adalah resistor tak linier, maka ketika awal surja nilai tahanan akan mengecil karena arus yang membesar. Hal ini akan membatasi tegangan maksimal pada terminal arrester, namun ketika arus mulai turun maka tahanan resistor membesar, sehingga arus susulan dapat dihambat oleh nilai tahanan yang besar ini. Biasanya arus dapat dikendalikan hingga mencapai arus nominal yang dikenal sebagai arus kendali sebesar 50A.

Saat tegangan sesaat sistem nol, percikan akan padam dan arus kendali menjadi nol serta arus susulan tidak berlanjut lagi.

Secara umum arrester jenis katup dibagi menjadi empat jenis, yaitu :

a. Jenis Gardu

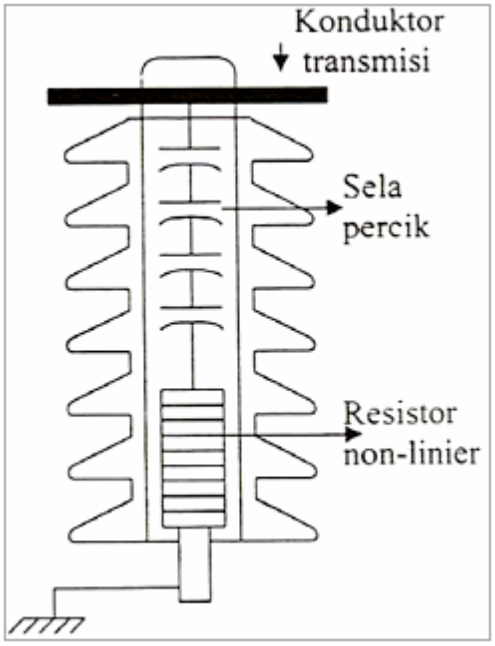
b. Jenis Saluran(15-39kV)

c. Jenis Gardu untuk Mesin(2,4-15kV)

d. Jenis Distribusi untuk Mesin(120-750V)

---

[9]W, Stevenson,.*Elements Of Power System Analysis Third Edition* – Terjemahan indonesia, Lembaga Penerbitan Universitas Brawijaya, Malang, 2002 *of Substations.* IEEE Standard 998.



Gambar 2.6. Konstruksi arrester jenis katup

Gambar 2.7. Lightning arrester jenis gardu rating 150kV

2.9 Prinsip Kerja Lightning Arrester

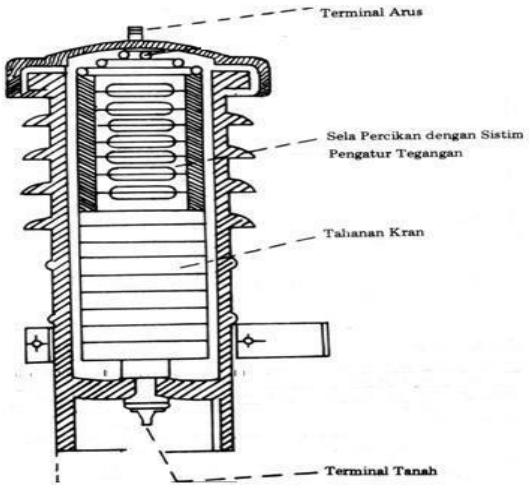
Lightning arrester merupakan peralatan yang didesain untuk melindungi peralatan sistem tenaga listrik dari tegangan lebih (baik surja hubung maupun surja petir) dan pengaruh *follow current*. *Lightning arrester* memiliki fungsi utama memotong tegangan lebih yang menuju peralatan sistem tenaga listrik yang dilindunginya[10].

[10]Z, Reynaldo. 2007, *Proteksi Terhadap Tegangan Lebih Pada Sistem Tenaga Listrik*, Penerbit ITB, Bandung

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 2 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.



Gambar 2.8. Bagian-bagian *lightning arrester*

2.10 Perlengkapan Lightning Arrester

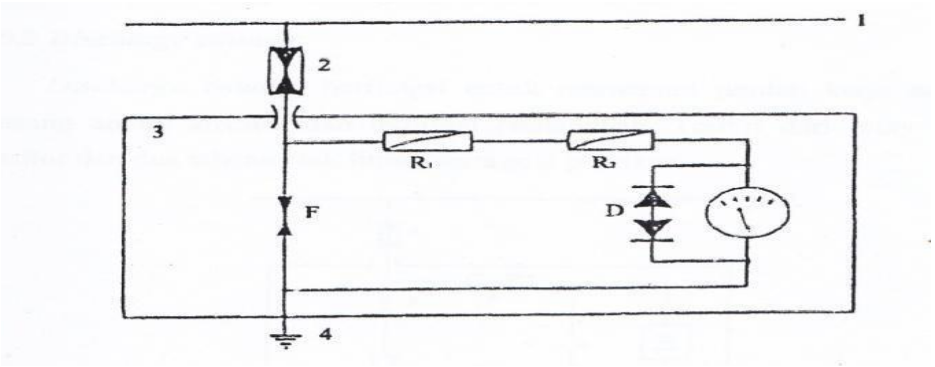
Lightning arrester memiliki beberapa perlengkapan yaitu :

a. miliamperemeter

b. *dischargecounter*

2.10.1 Miliamperemeter

Miliamperemeter digunakan untuk memantau arus bocor yang dipasang antara *lightning arrester* dengan konduktor pentanahan. 3 Jika arus bocor melewati batas yang diijinkan (2 mA), maka isolator arrester harusdibersihkan.



Gambar 2.9. Rangkaian miliamperemeter

Keterangan :

1. Konduktor fasa I. InstrumentmA
2. *Lightning Arrester* D. DiodaZener
3. Miliammeter F. SparkGap
4. *Earth*

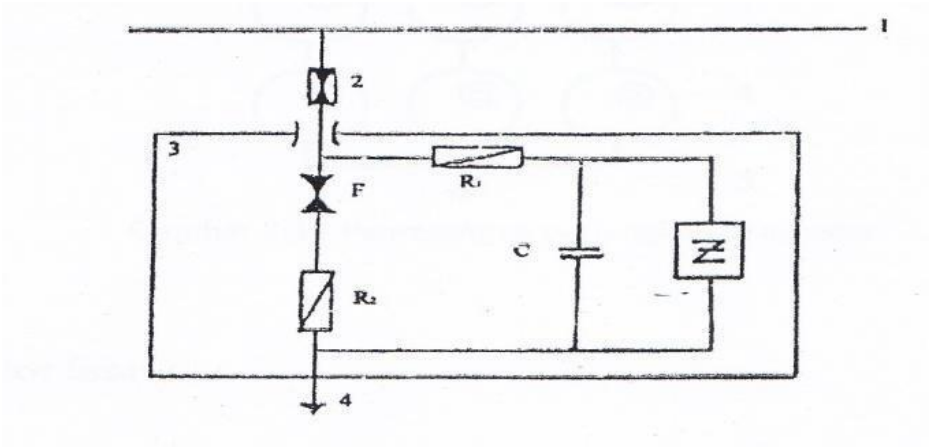
Connection

R1. Tahanan Non Linear

R2. Series Resistor

2.10.2 Dischargecounter

Discharge Counter berfungsi untuk memantau jumlah kerja *lightning arrester* yang terpasang antara *lightning arrester* dan terminal pentanahan. Terdiri dari relay penghitung, kapasitor, dan dua tahanan tak linear, serta sela percikan.



Gambar 2.10. Rangkaian *discharge counter*

Keterangan :

1. Konduktor Fasa F. *Sparkgap*

2. Lightning arrester Z. CountingRelay

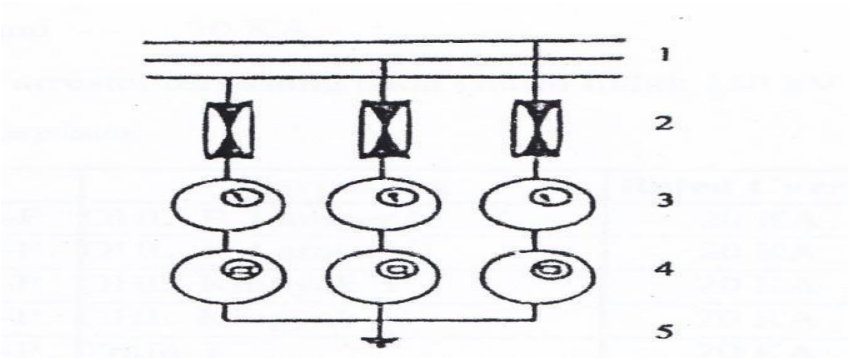
3. *Discharge Counter* R1,R2. Tahanannonlinear

4. *Earth connection* C.Kapasitor

2.11.2 Pemasangan Perlengkapan Lightning Arrester

Pemasangan miliamperemeter dan *discharge counter* dihubung seri dengan *lightning arrester* dan diletakkan antara *lightning arrester* dan pentanahan dengan susunan sebagaiberikut[11],

[11]*Ibid*



Gambar 2.11. Pemasangan perlengkapan *lightning arrester*

Keterangan:

1. Konduktorfasa

2. Lightningarrester

3. Miliamperemeter

4. Dischargecounter

5. Pentanahan

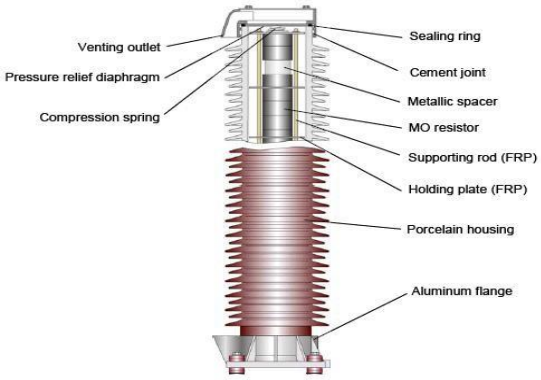
2.12.2 Bagian-Bagian Lightning Arrester dan Fungsinya

Active Part dari *Arrester* terdiri dari Kolom Varistor Metal Oksida yang dipasang dengan konstruksi supporting. Keping metal oksida dibuat dalam bentuk silinder yang besaran diameter keping tergantung pada kemampuan absorbsi energi dan nilai discharge arus. Nilai diameter bervariasi dari 30 mm untuk arrester kelas distribusi hingga 100 mm untuk arrester HV/EHV. Setiap keping blok memiliki tinggi bervariasi dari 20 hingga 45 mm. Semakin tinggi keping blok metal oksida akan semakin sulit prosesproduksinya.Nilai *residual voltage* untuk setiap keping block metal oksida pada saat dilewatkan arus impulse standar 10 kA tergantung pada diameter keping itu. Sebagai contoh pada MO dengan diameter 32 mm nilai *residual voltagenya*

adalah 450 V/ mm,sementara untuk diameter 70 mm nilai residual voltage menurun menjadi 280V/mm.

Gambar 2.12. Keping metal oksida

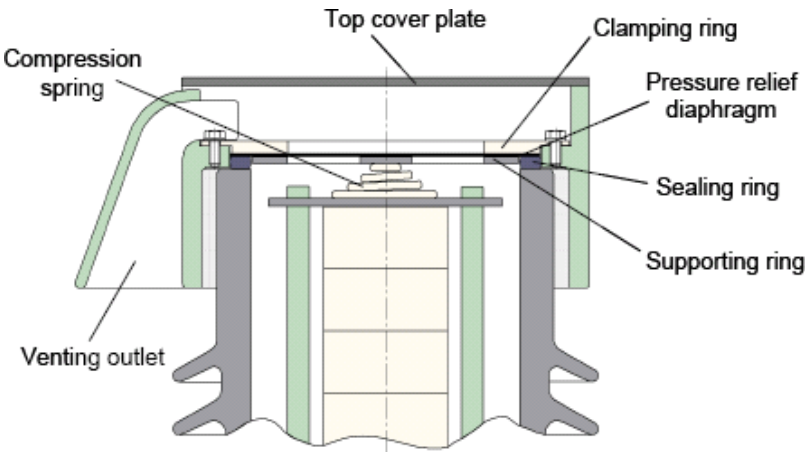
Arrester dengan diameter 70 mm ini memiliki tinggi 45 mm, maka untuk satu keping blok metal oksida, mampu memberikan*residual voltage* sebesar 12, 5 kV. Bila *arrester* ini hendak memiliki *residual voltage* sebesar 823 kV, maka diperlukan setidaknya 66 keping blok dipasang tersusun ke atas. Tinggi arrester akan mencapai 3 meter. Oleh karena ketinggian 3 meter dinilai tidak pratis, dan tidak memiliki kestabilan mekanis yang baik, maka arrester ini dibuat setidaknya 2 tumpuk.



Gambar 2.13. Struktur lightning arrester

Material Metal Oksida ditaruh dalam tabung yang terbuat dari aluminium. Tabung ini memiliki kemampuan menahan mekanis, juga sebagai pendingin keping. Tumpukan keping metal oksida ditaruh dalam sangkar rod, terbuat dari FRP (*Fiber Glass Reinforced Plastic*).

Compression Ring dipasang pada ujung kolom *active part* untuk



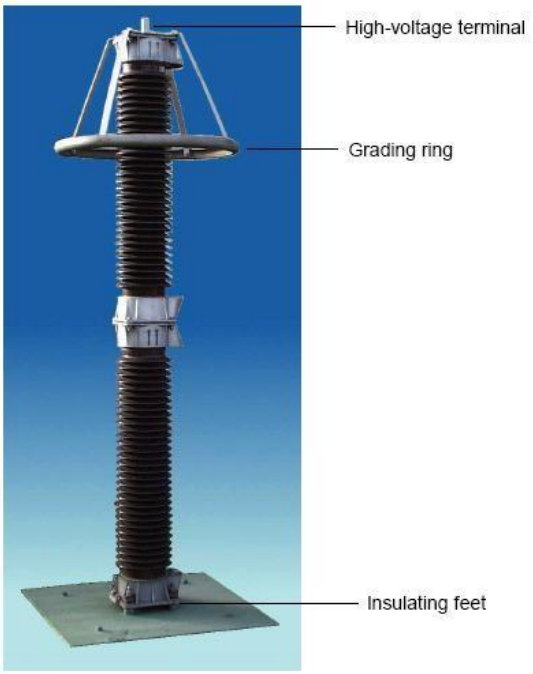
Gambar 2.14. Struktur pressure relief

memastikan susunan berada dalam posisi tetap di dalam kompartemen housing. Kompartemen housing sendiri saat ini terbuat dari porcelain, walau beberapa sudah mulai beralih ke polimer. Alumunium flange direkatkan dengan menggunakan semen sebagai dudukan. Untuk bahan alumunium sendiri, menurut IEC 60672-3, terdapat 2 jenis yaitu: Porselin Quartz dan Porselin Alumina. Porselin Alumina memiliki daya tahan yang lebih baik. Proses glasur preselin tidak hanya pada sisi dalam dari arrester, namun juga pada sisi luar dariarrester.

Sealing Ring dan *Pressure Relief Diaphragm* dipasang di kedua ujung *arrester*. Material sealing ring harus memiliki daya tahan terhadap kondisi ozone, agar tetap mampu melakukan seal dengan baik. Material yang sering dipilih adalah dari jenis material sintetis, jenis karet biasa tidak mampu digunakan untuk hal ini. Sementara untuk *Pressure Relief*

Diapraghm, dipilih materialdarijenis steel kualitas tinggi, atau nikel. Keduanya harus mampu tahan hingga 30 tahun, Pressure relief dan clamping ring disatukan dengan clamping ring yang dipasang pada flange menggunakan baud.[12]

Pada saat terjadi proses discharge yang dibarengi dengan peningkatan suhu yang sangat tinggi, maka, akan terjadi pemuain suhu di dalam kompartemen arrester, kelebihan tekanan inilah yang perlu dilepas dari dalam kompartemen, pressure relief bekerja sebagai katuppelepasan.



Gambar 2.15. Arrester porselain dengan 2 kompartemen

Grading ring penting diperlukan untuk *arrester* dengan ketinggian 1,5 – 2 meter (atau *arrester* yang ditumpuk menjadi beberapa unit). *Grading Ring* berfungsi sebagai control distribusi tegangan dari ujung atas arrester (bagian bertegangan) menuju bagian bawah, hal ini diperlukan

[12]Anonim.2008. *Pedoman Pemilihan TingkatIsolasi Transformator Dan Penangkal Petir*.

oleh karena *earth capacitance* berpengaruh pada *Lightning Arrester*. Pemilihan ukuran *grading ring* pun perlu mempertimbangkan jarak antar fasa.

Jarak aman antar konduktor sama dengan jarak antar *grading ring* antar fasa dari*arrester*.Pada *Arrester* yang terpasang pada GI/ GITET umumnya dilengkapi dengan peralatan monitoring, apakah berupa *counter, monitoring spark gap* ataupun meter arus bocor.*Arrester* tidak langsung dibumikan, namun dilewatkan terlebih dahulu pada peralatan *monitoring* tersebut, sehingga dibutuhkan juga *insulating feet*/ insulator dudukan.

.

Gambar 2.16. *Counter arrester* dan meter arus bocor total

Surge Counter berfungsi untuk menghitung jumlah kerja dari *arrester* melakukan proses *discharge*, sementara *leakage cureent detector* berfungsi untuk memberikan besaran arus bocor pada *arrester* pada tegangan operasi kontinu, nilai arus bocor ini merupakan arus bocor total yang umumnya merupakan arus kapasitif, arus bocor ini juga bergantung pada besar arus bocor permukaan yang nilainya tergantung pada kebersihan *housing* dari *arrester*. Arus bocor dari kapasitansi bocor peralatan gardu induk lain juga memungkinkan untuk turut terukur oleh meterini.[13]

Spark Over detector memiliki fungsi yang serupa dengan *surge counter*, hanya saja, untuk melihat apakah arrester tersebut telah

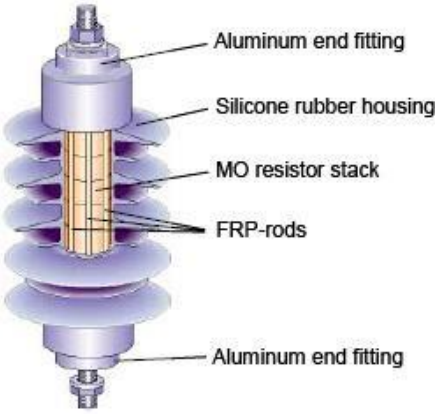
[13]*Ibid*

melakukan proses *discharge kompartemen SparOver* perlu dibuka dan dilakukan pengecekan apakah terdapat tanda bekas *discharge* diantara kedua pelat tersebut

Gambar 2.17. Peralatan monitoring spark gap

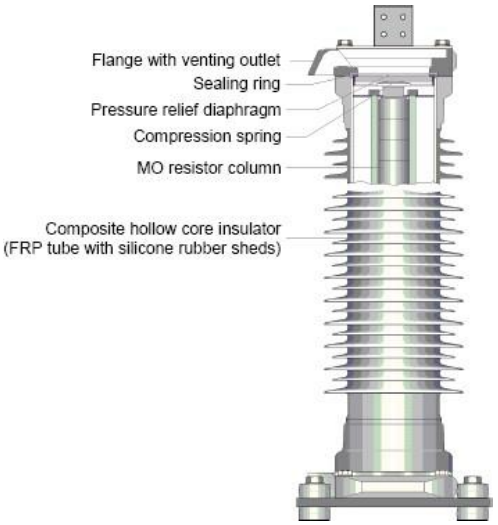
Teknologi terakhir dari *arrester* adalah dengan memanfaatkan polimer sebagai kompartemen housing. Konstruksi desainnya tidak jauh berbeda dengan *arrester* dengan kompartemen terbuat dari porselin. Pada *arrester* kelas distribusi, polimer dicetak menempel dengan kolom metal oksida (molded), hal ini memberikan keuntungan: bebas void, ikatan yang kuat serta posisi permanen. Kelebihan lain yang diberikan adalah polimer memiliki kemampuan hydrophobicity yang baik, mudah dibawa, serta menurunkan biaya produksi[14].

[14]*Ibid*



Gambar 2.18. *Arrester* polymer kelas distribusi *(Molded)*

Namun untuk arrester kelas HV/ EHV, desain mold tersebut tidak dapat dilakukan dengan pertimbangan kekuatan mekanis serta daya tahan elektris. Sehingga desainnya sama dengan *arrester* porselin, hanya saja menggunakan kompartemen polimer, seperti dapat dilihat pada gambar 2.18 di bawah ini:



Gambar 2.19. Desain arrester dengan polymer housing di kelas HV/ EHV

2.13 Sub Sistem Pendukung Lightning Arrester

Lightning arrester memiliki beberapa sub sitem pendukung yaitu :

a. sub sistem pemotongsurja.

b. sub sistem isolasi.

c. sub sistem *counter* dan meterpenunjuk.

d. sub sistempentanahan.

e. sub sistem pengaman tekanan lebihinternal.

f. sub sitem konstruksipenyangga.

g. sub sistemkonektor.[15]

2.13.1 Sub Sistem Pemotong Surja

Merupakan sub sistem kritis dari sebuah *lightning arrester* yang berfungsi memotong tegangan lebih dari surja.Mayoritas *lightning arrester*saat ini menggunakan tipe Metal Oksida.

2.13.2 Sub Sistemisolasi

Merupakan sub sistem yang memiliki sub fungsi memisahkan bagian konduktor bertegangan dengan *ground*, terdiri dari kompartemen insulator (*housing*), baik berupa keramik maupun polymer, juga insulator dudukan (insulation feet) berada di sisi bawah dari *lightning arrester*. Kompartemen perlu diperhatikan tingkat polusinya, semakin tinggi tingkat polusi yang melekat, memungkinkan nilai arus bocor permukaan menjaditinggi.

---

[15]Munandar A, Aris dan Kuwahara, S. 2003. *Buku Pegangan Teknik Tenaga Listrik, jilid III Gardu Induk.* Pradya Paramita. Jakarta

2.13.3 Sub Sistem Counter & Meter Petunjuk

Counter berfungsi untuk menunjukkan jumlah surja yang telah terjadi pada *lightning arrester*. Sementara meter petunjuk berfungsi untuk menunjukkan besar nilai arus bocor yang mengalir dari ujung atas *lightning arrester* menuju *ground* dalam kondisi operasi tegangan kontinu.

2.13.4 Sub Sistem Pentanahan

Merupakan komponen yang berfungsi untuk meneruskan baik arus bocor selama tegangan operasi kontinu, maupun surja menuju bumi. Kawat pentanahan terbuat dari tembaga.

Kawat pentanahan umumnya dipasang seri dengan peralatan *monitoring* (*counter* ataupun meter) sebelum dibumikan. Kondisi konektor harus dipastikan baik, seperti: tidak terdapat rantas pada kawat, ataupun koneksi-koneksi dalam keadaan baik (mur dan baut), dan kawat tembaga tidak ditumbuhi lumut.

2.13.5 Sub Sistem Pengaman Tekanan Lebih Internal

Memiliki fungsi melepaskan tekanan lebih di dalam *lightning arrester* yang mungkin timbul ketika terjadi *discharge* arus surja tinggi. Fungsinya mirip *pressure relief* pada transformator. Pada saat terjadi surja, baik *single* maupun *multiple*, suhu keeping metal oksida mampu mencapai 170ºC – 200ºC, oleh karenanya terjadi pemuaian udara di dalam kompartemen udara, pemuaian ini perlu dilepas keluar kompartemen untuk menghindari kompartemen (umumnya porselen menjadi pecah), katup kembali menutup dengan segera untuk menjaga agar tekanan udara di dalam kompartemen tetap lebih tinggi daripada tekanan udaraluar.

2.13.6 Sub Sistem Konstruksi Penyangga

Memiliki fungsi sebagai penyangga *lightning arrester* di atas permukaan tanah. Terdiri dari pondasi dan struktur besi penyangga.

2.13.7 Sub Sistem Konektor

Memiliki fungsi melakukan koneksi antara kawat konduktor dengan bagian atas *lightning arrester*, dan dari *lightning arrester* ke bagian pentanahan. Bagian ini rawan terjadi kelonggaran yang memungkinkan timbulnya *hotspot*.

2.14 Pemilihan Letak Pemasangan Lightning Arrester

Ada beberapa ketentuan yang diperhitungkan dan dipertimbangkan dalam memilih letak lightning arrester:

a. Tegangan kerja (Tegangan pelepasan)

b. TID (Tingkat Isolasi Dasar)peralatan

c. Tegangan pengenalArrester

2.14.1 Tegangan Kerja (Tegangan Pelepasan) *Arrester*

Tegangan kerja atau tegangan pelepasan merupakan salah satu faktor yang menentukan tingkat perlindungan dari penangkap petir. Jika tegangan kerja penangkap petir ada di bawah BIL*(Basic Impulse Level)* dari peralatan yang dilindungi, maka faktor keamanan yang cukup untuk perlindungan peralatan yang optimum dapat diperoleh.Tegangan kerja tergantung pada :

a. Arus pelepasan dariarrester

b. Kecuraman gelombang arus(di/dt)[16]

---

[16]*Ibid*

2.14.2 TID (Tingkat Isolasi Dasar) Peralatan

Pemakaian isolasi haruslah rasional dan ekonomis mungkin dengant tidak mengurangi kemapuan sebagai isolator. Di lain pihak diperlukan alat-alat pelindung guna melindungi peralatan listri tersebut. Koordinasi isolasi diartikandalam bentuk langkah- langkah yang diambil untuk menghindari kerusakan pada transformator karena tegangan lebih. Jadi diperlukan korelasi antara daya isolasi transformator dan karakteristik alat-alat pelindung terhadap tegangan lebih, yang masing-masing ditentukan oleh tingkat ketahanan impuls dan tingkat perlindungan impulsnya.

Isolasi transformator daya didasarkan atas tingkat isolasi impuls dasar (TID). Tingkat isolasi dasar didefenisikan sebagai tingkat patokan yang dinyatakan dalam tegangan puncak impuls suatu gelombang dasar, yaitu menurut IEC adalah 1,2 x 50μdetik.

Dalam menentuka TID transformator biasanya terlebih dahulu ditentukan tegangan tertinggi peralatan yang besarnya 10 % diatas tegangan nominal system.

2.14.3 Tegangan Pengenal Lightning Arrester

Pada umumnya pengenal atau (rating) arrester hanya pengenal tegangan. Pada beberapa jenis arrester perlu juga diketahui pengenal arusnya untuk menentukan kapasitas thermal arrester tersebut.

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

a. Pengenal tegangan ini paling sedikit sama dengan tegangan maksimum yang mungkin timbul selama terjadi gangguan.
b. Karakteristik perlindungan atau karakteristik impuls ini adalah untuk koordinasi yang baik antara arrester dan peralatan yang dilindungi.

c. Kemampuan pemutus arus frekuensi dasar.
d. Kemampuan menahan atau melewatkan arus surja.

Tegangan pengenal dapat diperhitungkan dengan rumus :

$$Er = \alpha . \beta . Vm \quad (2.1)$$

Dimana :

Er = Tegangan pengenal

α = Koefisien Pentanahan (koefisien 0,8 / 80 % untuk sistem yang ditanahkan langsung yaitu sistem 150 kV dan koefisien 1,0 / 100 % untuk sitem yang tidak ditanahkan langsung yaitu sistem 70 kV) rekomendasi IEC

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

Vm = Tegangan nominal sistem

2.15 Lokasi Penempatan Lightning Arrester

Arrester ditempatkan sedekat mungkin dengan peralatan yang dilindungi. Tetapi untuk memperoleh kawasan perlindungan yang lebih baik, maka ada kalanya arrester ditempatkan dengan jarak tertentu dengan perlatan yang dilindungi. Jarak arrester dengan peralatan yang dilindungi berpengaruh terhadap besarnya tegangan yang tiba di peralatan. Jika jarak arrester terlalu jauh, maka tegangan yang tiba pada peralatan dapat melebihi tegangan yang dapat dipikulnya. Peralatan masih dapat dilindungi dengan baik apabila jarak arrester dengan peralatan masih dalam batas yang diijinkan.

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 alat yang dilindungi dikenal beberapa metode. Salah satunya adalah metode pantulan berulang. Metode ini adalah metode pendekatan yang dapat digunakan untuk menetukan jarak maksimum arrester dan peralatan dimisalkan hanya ada satu saluran yaitu keadaan yang berbahaya adalah sebagaiberikut

$$U_t = U_A + 2\,\frac{du}{dt}\,x\,\frac{L}{V} \qquad (2.2)$$

Dimana :

Ut = tegangan gelombang berjalan yang datang pada trafo (kV)

UA = tegangan kerja arrester(kV)

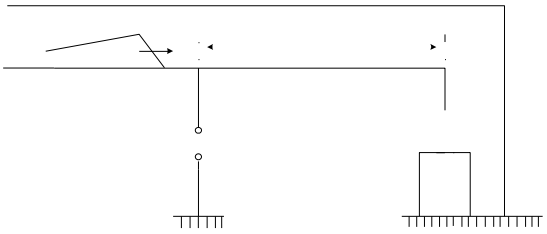
du/dt = kecuraman muka gelombang berjalan (kV/µs), dan berdasarkan rekomendasi standard IEC, umumnya dipakai 500 kV / µs

V = kecepatan gelombang berjalan sepanjang saluran dengan kecepatan cahaya (300 m / µs)

L = jarak antara trafo daya dan arrester(m)

2.16 Jarak Maksimum Arrester dan Transformator yang Dihubungkan Dengan SaluranUdara

Perlindungan yang baik diperoleh jika arrester ditempatkan sedekat mungkin dengan transformator. Tetapi, dalam kenyataannya, arrester harus ditempatkan dengan jarak tertentu, agar perlindungan dapat berlangsung dengan baik.



Gambar 2.20 Jarak tansformator dan arrester

Jika arrester dihubungkan dengan menggunakan saluran udara terhadap alat yang diindungi, maka untuk menetukan jarak yang baik antara arrester dengan trafo, dinyatakan dengan persamaan.

$$L = \frac{U_t - U_A}{2\frac{du}{dt}} \quad \text{xv} \qquad (2.3)$$

Dimana :

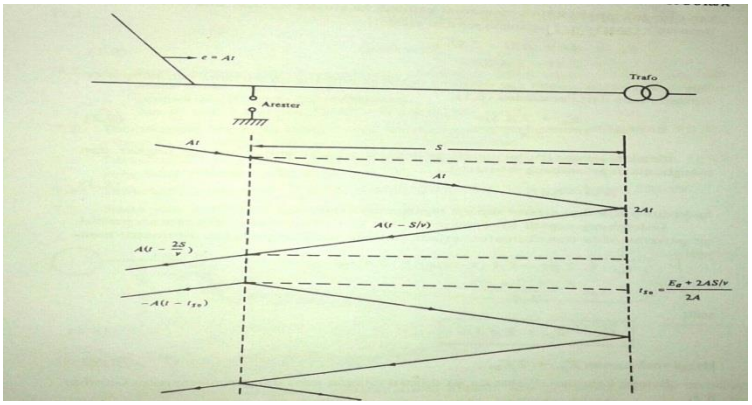
L = jarak antara trafo daya dan arreste r(m)

Ut = tegangan gelombang berjalan yang datang pada trafo (kV)

UA = tegangan kerja arrester(kV)

du/dt = kecuraman muka gelombang berjalan (kV/µs), dan berdaskan rekomendasi standard IEC, umumnya dipakai 500 kV / µs

V = kecepatan gelombang berjalan sepanjang saluran dengan kecepatan cahaya (300 m / µs)



Gambar 2.21. Diagram tangga antara arrester dan transformator

Untuk memperkecil gelombang surja yang yang memasuki gardu induk atau transformator, sering ipasang sepotong kabel atau kawat udara dan transformator. Transformator itu dianggap sebagai jepitan terbuka. Dengan cara coba-coba dapat ditentukan panjang maksimum dari kabel penghubung tersebut dalam contoh berikut ini dapat diperiksa apakah transformator masih terlindung dengan baik bila dipasang kabel penghubung antara kawat udara dan transformator. Sedangkan arrester ditempatkan pada titik sambungan kawat udara dan kabel.

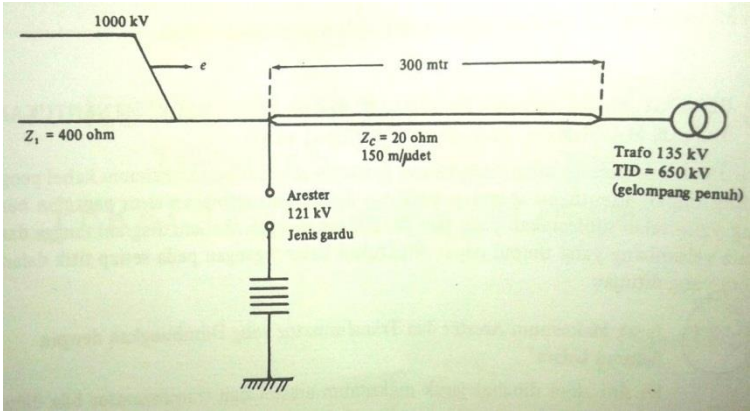
Contoh :

Arrester 121 kV dipasang pada titik sambungan kawat transmisi udara dengan kabel pada ssuatu gardu 138 kV. Kawat transmisi yang memasuki gardu cukup terlindung. Misalkan terjadi lompatan api *(flashover)* pada saluran dan suatu surja 1000 kV, muka 2 mikrodetik dan ekor yang datar (panjang tak berhingga) memasuki gardu, gambar 2.21.

a. Tentukan tegangan pada transformator?

b. Apakah arrester dapat melindungitransformator?

Dimisalkan tegangan percik arrester 390 kV dan tegangan setelah itu konstan (390 kV). Juga dimisalkan panjang kawat arrester sama dengan nol, gambar2.21.



Gambar 2.22. Kabel penghubung antara kawat trasmisi udara dengan Trasformator untuk gambar 2.20

Penyelesaian dengan teori pantulan berulang:

Jawab : konstruksi diagram tangga

a = $\frac{20-400}{20+400}$ = -0,9047

a' = $\frac{2\ x\ 20}{400+20}$ = 0,0953

b = $\frac{400-20}{400+20}$ = 0,9047

b' = $\frac{2\ x\ 400}{400+20}$ = 1,9047

pertama-tama yang harus ditentukan ialah waktu pada saat mana *arrester* mengalami percikan. Misalkan dulu *arrester* tidak ada, maka tegangan pada titil sambungan kabel kawat udara.

t = 0 μdet ; e = 0

t = 2 μdet ; e = 95,3 Kv

t = 4 μdet ; e = 95,3 Kv

t = 6 μdet ; e = 95,3 + 95,3 + 86,2 = 276,8 kV

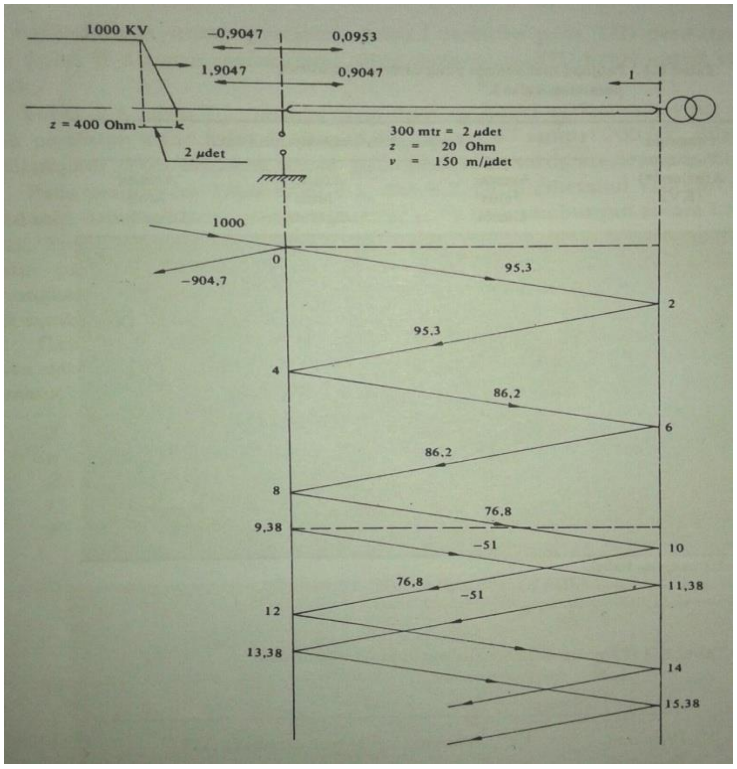
t = 8 μdet ; e = 276,8 kV

t = 10 μdet ; e = 276,8 + 86,2 + 78 = 441,0 kV

tetapi pada e = 390 kV, arrester memercik *(spark over)*

Tegangang pada lokasi *arrester* dan waktu untuk mencapainya dapat diperoleh dari diagram tangga, gambar 2.22. naik tegangan pada lokasi *arrester* diberikan dalam gambar 2.22.Waktu percik arrester

Δ $(t_{so)}:t_{so}$ =8+t)



Gambar 2.23. Diagram tangga untuk contoh