



## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1 Umum

Seperti yang telah kita ketahui bahwa pusat pembangkit listrik umumnya dihubungkan 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 pusat pembangkit listrik. Oleh karena itu, dalam pusat listrik harus ada lightning arrester (penangkal petir) yang berfungsi menangkal gelombang berjalan dari petir yang akan masuk ke instalasi pusat pembangkit listrik. Gelombang berjalan juga dapat berasal dari pembukaan dan penutupan pemutus tenaga atau circuit breaker (switching), surja tegangan yang disebabkan oleh switching lebih besar dari pada surja petir. Saluran udara yang keluar dari pusat pembangkit listrik merupakan bagian instalasi pusat pembangkit 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 pada petir yang merupakan gelombang berjalan menuju ke 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. 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.

#### 2.2 Gardu Tiang Distribusi

Gardu Tiang Distribusi adalah suatu bangunan gardu listrik berisi atau terdiri dari instalasi Perlengkapan Hubung Bagi Tegangan Menengah (PHB-TM), Trafo Distribusi, dan Perlengkapan Hubung Bagi Tegangan Rendah (PHB-TR) untuk memasok kebutuhan daya listrik bagi para pelanggan baik dengan tegangan Menengah (TM 20kV) maupun Tegangan Rendah (TR 220/380 V). Konstruksi Gardu Distribusi dirancang berdasarkan optimalisasi biaya terhadap



maksud dan tujuan penggunaannya yang kadang kala harus disesuaikan dengan peraturan pemerintah daerah setempat.

<http://ezkhelenergy.blogspot.com/2013/10/gardu-distribusi.html>

Peralatan yang sebagian besar terdapat pada gardu tiang adalah :

#### 1.Fuse

Fuse adalah salah satu pengaman lebur yang paling sederhana. Pengaman ini menggunakan elemen kawat yang berdasarkan panas dari besaran arus listrik yang mengalir pada elemen tersebut. Untuk unit – unit pembangkit digunakan fuse jenis H.R.C (High Repturing Capacity).

#### 2.Pemutus Beban (Cut Out)

Cut out atau pemutus beban berfungsi sebagai pengaman lebur, jika gangguan arus lebih yang melebihi kapasitas hantaran dari cut out, maka hantaran tersebut akan melebur dan beban (Trafo) akan terlepas dari sistem yang bertegangan dari saluran pengirim daya.



**Gambar 2.1** Fuse Cutout

#### 3. Lightning Arrester (LA)

Lightning arrester adalah alat untuk melindungi isolasi atau peralatan listrik terhadap tegangan lebih yang diakibatkan oleh sambaran petir yang besar dari suatu penyambungan atau pemutusan rangkaian tanpa gangguan sistem.



Gambar 2.2 Lightning Arrester

#### 4. Transformator Daya

Transformator daya berfungsi untuk menyalurkan tenaga / daya dari (mentransformasikan tegangan).

Pada prinsipnya transformator daya adalah alat listrik, tanpa bagian penggerak dan dapat memindahkan juga mengubah energi listrik dari suatu atau lebih rangkaian listrik ke rangkaian listrik lainnya.

Pengubahan dan pemindahan energi listrik ini melalui satu gandengan magnet dan berdasarkan prinsip induksi elektromagnetik, umumnya dengan mengubah harga tegangan pada frekuensi yang sama.



Gambar 2.3 Transformator distribusi pada gardu tiang

### 2.3 Lightning Arrester

Arrester adalah alat pelindung bagi sistem tenaga listrik terhadap tegangan



lebih yang disebabkan oleh petir atau surja hubung (switching surge). Alat ini digunakan sebagai jalan pintas (by-pass) sekitar isolasi. Arrester membentuk jalan yang mudah dilalui oleh arus kilat atau petir, sehingga tidak timbul tegangan lebih pada peralatan. Jalan pintas itu harus sedemikian rupa sehingga tidak mengganggu aliran daya sistem 50 hertz.

Arrester berfungsi untuk melindungi isolasi atau peralatan listrik terhadap tegangan lebih yang diakibatkan oleh sambaran petir atau tegangan transient yang tinggi dari suatu penyambungan atau pemutusan rangkaian (sirkuit), dengan cara mengalirkan arus surja ke tanah serta membatasi berlangsungnya arus ikutan (follow current) serta mengembalikan keadaan jaringan ke keadaan semula tanpa mengganggu sistem. Pada keadaan normal arrester berlaku sebagai isolator dan bila timbul tegangan surja alat ini berfungsi sebagai konduktor yang tahanannya relatif rendah sehingga dapat mengalirkan arus yang tinggi ke tanah. Setelah surja hilang, arrester harus dapat dengan cepat kembali menjadi isolasi.

### **2.3.1. Bagian Pada Arrester**

#### 1. Elektroda

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

#### 2. Sela percikan (spark gap)

Apabila terjadi tegangan lebih oleh sambaran petir atau surja hubung pada arrester arrester yang terpasang maka sela percikan (spark gap) akan terjadi loncatan busur api. Pada beberapa tipe arrester, busur api yang terjadi tersebut ditiup keluar oleh tekanan gas yang ditimbulkan oleh tabung filber yang terbakar.

#### 3. Tahanan katup

Tahanan yang digunakan dalam arrester adalah suatu jenis material yang sifat tahanannya akan berubah bila mendapatkan perubahan tegangan.



### 2.3.2. Persyaratan yang harus dipenuhi oleh arrester adalah sebagai berikut :

Tegangan percikan (spark over voltage) dan tegangan pelepasannya (discharge voltage) yaitu tegangan pada terminalnya pada waktu pelepasannya, harus cukup rendah sehingga dapat mengamankan isolasi peralatan. Tegangan percikan disebut juga tegangan gagal sela (breakdown voltage). Arrester harus dapat memutuskan arus dinamik dan dapat bekerja terus seperti semula. Faktor – faktor yang harus diperhatikan dalam pemilihan arrester yang sesuai untuk keperluan tertentu yaitu :

1. Kebutuhan perlindungan yaitu berhubungan dengan kekuatan isolasi dari alat yang harus dilindungi dan karakteristik dari impuls.
2. Tegangan sistem ialah tegangan maksimum yang mungkin timbul pada jepitan arrester
3. Arus hubung singkat sistem diperlukan hanya untuk arrester jenis ekspulsi
4. Jenis arrester yaitu apakah jenis gardu, jenis saluran atau jenis distribusi.
5. Faktor kondisi luar yaitu kondisi normal atau tidak normal, temperatur dan kelembapan tinggi serta pengotoran.
6. Faktor ekonomi yaitu faktor perbandingan antara ongkos pemeliharaan dan , kerusakan bila tidak arrester atau bila dipasang arrester yang lebih rendah mutunya.



### 2.3.3. Jenis-jenis Lightning Arrester

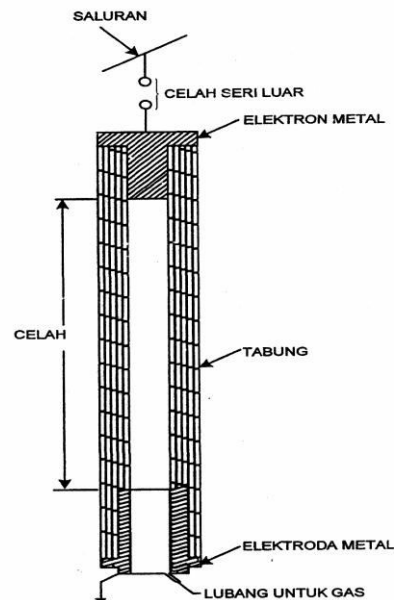
#### 1. Arrester jenis Ekspulsi atau tabung pelindung.

Arrester jenis Ekspulsi atau tabung pelindung pada prinsipnya terdiri dari sela yang berada dalam tabung serat dan sela percik batang yang berada diluar udara atau disebut sela seri. Bila ada tegangan surja yang tinggi sampai pada jepitan arrester kedua sela percik, yang diluar dan yang berada didalam tabung serat tembus seketika dan membentuk jalan penghantar dalam bentuk busur api. Jadi, arrester menjadi konduktor dengan impedansi yang rendah dan melakukan surja arus daya sistem bersama-sama.

Panas yang timbul karena mengalirnya arus gangguan yang tinggi menguapkan sedikit bahan dinding tabung serat, sehingga gas yang ditimbulkan menyembur pada api dan mematikannya pada waktu arus susulan melewati titik nolnya. Arus susulan dalam arrester jenis ini dapat mencapai harga yang tinggi sekali tetapi lamanya tidak lebih dari satu atau dua gelombang dan biasanya kurang dari setengah gelombang. Jadi tidak menimbulkan gangguan.

Arrester ekspulsi ini mempunyai karakteristik volt-waktu yang lebih baik dari sela batang dan dapat memutuskan arus susulan. Tetapi tegangan percik impulsnya lebih tinggi dari arrester jenis katup. Kemampuan untuk memutuskan arus susulan tergantung dari tingkat arus hubung singkat dari sistem pada titik dimana arrester dipasang. Dengan demikian perlindungan dengan arrester ini dipandang tidak memadai untuk perlindungan transformator daya, arrester jenis ini cocok untuk sistem distribusi.

Arrester ini banyak digunakan pada saluran transmisi untuk membatasi besar surja yang memasuki gardu induk. Dalam penggunaan yang terakhir ini, arrester jenis ini sering disebut juga sebagai tabung pelindung.



**Gambar 2.4** Elemen – elemen arrester jenis ekspulsi atau tabung pelindung

## 2. Prinsip Kerja Arrester Jenis Ekspulsi atau Tabung Pelindung.

Arrester jenis ekspulsi terdiri dari batang isolasi yang memiliki elektroda disetiap ujung lubang pelepasan pada ujung bawah. Panjang tabung sedemikian rupa sehingga percikan terjadi pada celah antara dua elektroda dalam tabung.

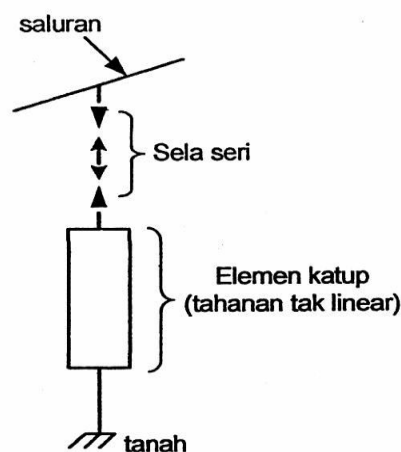
Untuk rating tegangan yang tinggi dan arus yang tinggi kemungkinan dalam tabung tergabung dua atau lebih celah dengan lubang pelepasan pada bagian atas, bawah dan tengah-tengah dari tabung ini merupakan celah seri yang dipasang diantara elektroda dengan kawat penghantar, yang mencegah pemakaian tegangan sistem yang terus menerus pada tabung. dengan cara demikian, kebocoran, korona dan karbonasi dapat dihindari.



Daya dari arus susulan membantu tekanan menjadi tinggi didalam tabung yang menimbulkan asap dari lubang pelepasan. Gas yang terdapat di dalam tabung akan memutuskan arus hubung singkat susulan pada setengah gelombang pertama atau kedua.

### 3. Arrester jenis Katup

Arrester jenis katup ini terdiri dari sela percik terbagi atau sela seri yang terhubung dengan elemen tahanan yang mempunyai karakteristik tidak linier, lihat gambar dibawah ini.

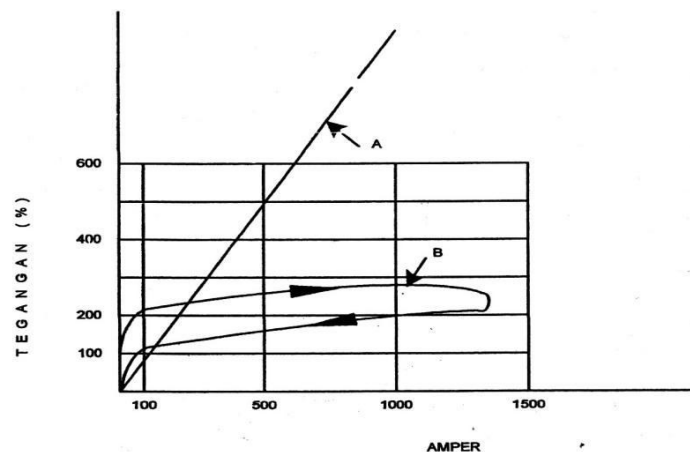


**Gambar 2.5** Elemen – elemen arrester jenis katup

Tegangan frekuensi dasar tidak dapat menimbulkan tembus pada sela seri. Apabila sela seri tembus pada saat tibanya suatu surja yang cukup tinggi, alat tersebut menjadi penghantar.

Sela seri tidak dapat memutuskan arus susulan. Dalam hal ini, sela seri dibantu oleh tahanan tak linier yang mempunyai karakteristik tahanan kecil untuk arus besar dan tahanan kecil untuk arus susulan dari frekuensi dasar.





**Gambar 2.6** Karakteristik volt-ampere dari elemen tahanan katup

Prinsip kerja dari arrester jenis katup yaitu sela seri (gap) bertindak sebagai switch yang mana pada saat terjadi tegangan percik (spark over) akibat tegangan yang cukup tinggi, maka sela seri tertutup. Sesudah tegangan kembali normal, gap seri harus terbuka kembali untuk memutuskan arus ikutan (follow current).

Gap seri biasanya di rancang sedemikian rupa sehingga mempunyai karakteristik seperti gap bola. Untuk memadamkan busur api, digunakan tahanan katup yang tidak linier. Bila tahanan mempunyai harga konstan (garis A, gambar 2.4), maka tegangan jatuh menjadi besar sekali sehingga pengaman tegangan lebih tidak tercapai. Untuk itu, dipakai suatu tahanan katup yang mempunyai karakteristik lengkung B ( garis B, gambar 2.4), bila tegangan naik maka tahanan turun dengan cepat selama tegangan lebih mencapai puncaknya, proses penurunan ini berlangsung dengan cepat sekali.

Arrester jenis katup ini dibagi dalam tiga jenis yaitu :

1. Arrester katup jenis gardu

Arrester katup jenis gardu ini adalah jenis yang paling efisien dan juga paling mahal. Umumnya arrester ini dipakai untuk melindungi alat-alat yang mahal pada rangkaian mulai dari 2.400 volt sampai 287 kv dan lebih tinggi.



## 2. Arrester katup jenis saluran

Arrester jenis saluran ini juga dipakai pada gardu induk untuk melindungi peralatan yang kurang penting. Arrester jenis saluran ini dipakai pada sistem tegangan 15 kV sampai 69 kV.

## 3. Arrester katup jenis gardu untuk mesin-mesin

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

## 4. Arrester katup jenis distribusi untuk mesin-mesin

Arrester jenis gardu ini khusus untuk melindungi mesin-mesin berputar dan untuk melindungi transformator dengan pendingin udara tanpa minyak. Arrester jenis ini dipakai pada peralatan dengan tegangan 120 kV sampai 750 kV.

Hutaaruk T.S. *Gelombang Berjalan dan Proteksi Surja*. Erlangga. Jakarta. 1991, Hal :102-104

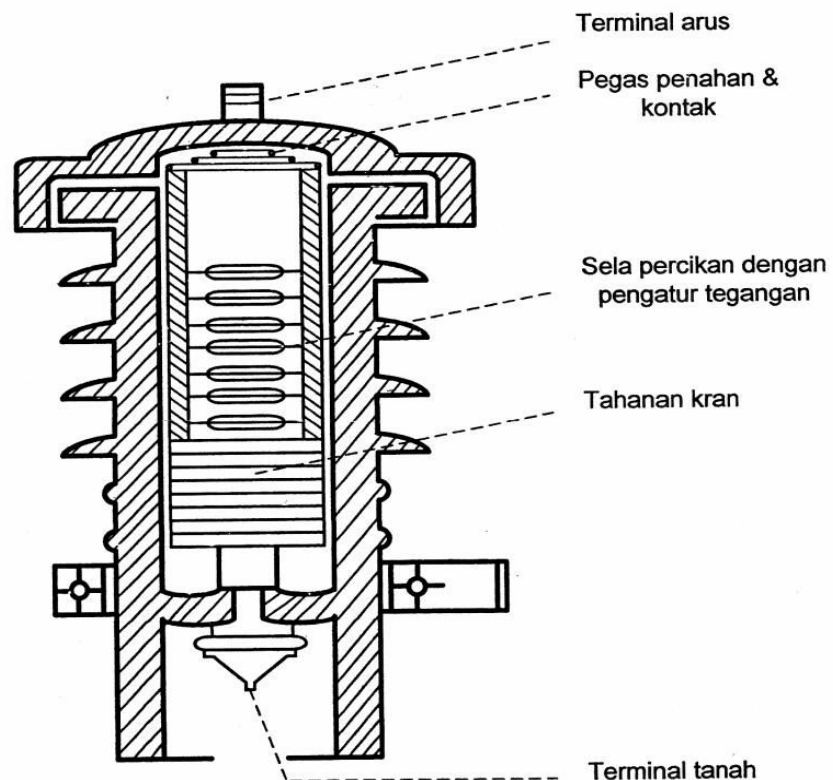


#### **2.4. Prinsip Kerja Arrester.**

Pada intinya arrester terdiri dari dua unsur yaitu sela api (spark gap) dan tahanan tak linier atau tahanan kran (valve resistor), keduanya dihubungkan secara seri. Batas atas dan bawah dari tegangan percikan ditentukan oleh tegangan sistem maksimum dan oleh tingkat isolasi peralatan yang dilindungi. Oleh karena itu, sebenarnya arrester terdiri dari tiga unsur yaitu sela api, tahanan kran atau tahanan katup dan sistem pengaturan atau pembagian tegangan (grading system).

Bila permasalahannya 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.

Dalam hal ini, tegangan sistem bolak-balik akan tetap mempertahankan busur api sampai pemutus bebannya dibuka. Dengan menyambung sela api ini dengan sebuah tahanan, maka apinya dapat dipadamkan. Tetapi bila tahanannya mempunyai harga tetap maka jatuh tegangannya menjadi besar sekali sehingga maksud untuk meniadakan tegangan tidak terlaksana, dengan akibat maksud untuk melindungi isolasi pun gagal. Oleh sebab itu, dipakailah tahanan kran, yang mempunyai sifat khusus bahwa tahanannya kecil sekali bila tegangannya dan arusnya besar. Proses pengecilan tahanannya berlangsung cepat sekali yaitu selama tegangan lebih mencapai harga puncaknya. Tegangan lebih dalam hal ini mengakibatkan penurunan drastis daripada tahanan sehinggajatuh tegangan dibatasi meskipun arusnya besar.



Gambar 2.7 Bagian-bagian arrester

Bila tegangan lebih telah habis dan tegangan kembali normal, tahanannya naik kembali sehingga arus susulannya dibatasi sampai kira-kira 50 Ampere. Arus susulan ini akan dimatikan oleh sela api pada waktu tegangan sistemnya mencapai titik nol pertama sehingga alat ini bertindak sebagai kran.

Pada arrester modern pemadaman arus susulan yang cukup besar (200 – 300A) dilakukan dengan bantuan magnet. Perlu diketahui bahwa arus susulan tidak selalu terjadinya setiap kali arrester bekerja. Ada tidaknya tergantung dari saat terjadinya tegangan lebih. Hal ini dikarenakan arus susulan telah dipadamkan pada arus nol yang pertama.



## 2.5. Karakteristik Arrester.

Arrester mempunyai karakteristik yang perlu diketahui, antara lain :

1. Mempunyai frekuensi dasar 50 herzt yang tidak boleh dilampaui.
2. Mempunyai karakteristik yang dibatasi oleh tegangan (voltage limit) bila dilalui oleh berbagai macam surja petir atau surja hubung.
3. Mempunyai batas thermis.

Arrester adalah sebuah peralatan tegangan dan mempunyai dasar (rating) tegangan, maka arrester tidak boleh dikenakan tegangan yang melebihi dasar ini, baik dalam keadaan normal maupun keadaan gangguan. Sebab dalam menjalankan fungsinya harus menanggung tegangan sistem normal dan tegangan transient 50 herzt.

Karakteristik pembatas tegangan impuls dari arrester adalah harga yang dapat ditahanan pada terminalnya bila menyalurkan arus tertentu. Harga ini berubah dengan besarnya arus. Karakteristik ini harus dapat dikenakan pada waktu yang singkat, misalnya pada waktu terjadi percikan pada sela bila arrester mulai bekerja sebelum arus mengalir.

Ciri ketiga yang kurang mampu mendapat perhatian cukup adalah batas thermisnya. Batas thermis yaitu kemampuan untuk melakukan arus surja yang berwaktu lama atau terjadi berulang-ulang, misalnya arus hubung, tanpa menaikkan suhunya.

Berhubungan dengan hal-hal diatas , maka tekanan pada isolasi dapat dibuat serendah mungkin. Sistem perlindungan tegangan lebih perlu memenuhi syarat- syarat sebagai berikut :

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



## 2.6. Gelombang sambaran petir

Gelombang sambaran petir ada beberapa macam yaitu :

### 1. Sambaran langsung

Sambaran langsung adalah sambaran yang menyebabkan tegangan lebih (over voltage) sangat tinggi yang tidak mungkin dapat ditahan oleh isolasi yang ada. Cara yang banyak dipakai untuk mencegah hal ini adalah dengan memperkuat perlindungan terhadap petir dengan kawat tanah (ground wire) diatas gardu tiang dan saluran distribusi di dekatnya.

### 2. Sambaran induksi

Sambaran induksi dapat terjadi bila awan petir ada diatas peralatan yang terisolasi. Awan ini menginduksikan muatan listrik dalam jumlah besar dengan polaritas yang berlawanan dengan petir itu, maka muatan terikat itu akan kembali bebas dan menjadi gelombang berjalan yang besarnya tergantung pada keadaan peralatan itu. Tegangan induksi itu dapat berubah- ubah tergantung dari keadaan, kebanyakan besarnya antara 100-200 kV. Sambaran induksi ini tidak begitu berbahaya bagi peralatan tegangan tinggi, meskipun hal ini merupakan ancaman bagi peralatan distribusi.

### 3. Sambaran dekat ( sambaran tidak langsung).

Sambaran dekat adalah gelombang berjalan yang datang ke gardu tiang dari sambaran petir pada saluran distribusi pada titik yang jaraknya hanya beberapa kilometer dari gardu tiang. Besarnya dibatasi oleh tegangan lompatan dari isolator saluran itu bila rambatannya sepanjang saluran melalui beberapa tiang. Tetapi peredaman dari kecuraman muka sangat kecil, sehingga gelombang itu tetap curam jika jarak rambatan pendek. Pada beberapa keadaan, harga puncak gelombang mencapai 120 – 130 % dari BIL (Basic Insulation Level) dari peralatan gardu tiang dan kecuraman muka gelombang 500 kV. Jika perisaian dari gardu tiang dan saluran distribusinya cukup baik, gelombang tegangan yang mungkin akan datang ke gardu tiang adalah dari sambaran petir yang jauh. Gelombang berjalan yang jauh ini mungkin berasal dari sambaran langsung pada saluran,



dari sambaran induksi, sambaran dari lompatan pada tiang. Dalam semua keadaan ini, gelombang berjalan sepanjang saluran dengan kecepatan cahaya ( $300 \text{ m}/\mu\text{s}$ ). Harga puncak dari surja aslinya dibatasi oleh tegangan lompatan dari isolator saluran. Selama merambat itu harga puncak dan kecuraman mengalami penurunan yang cukup banyak oleh adanya peredaman. Kecuraman gelombang dari sambaran petir yang jauh dianggap kira-kira  $200 - 300 \text{ kv}/\mu\text{s}$

### 2.7. Tegangan nominal ( nominal voltage) atau tegangan pengenalan

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 tetap mampu memutuskan arus ikutan dari sistem secara efektif.

Arrester pada umumnya tidak boleh bekerja jika ada gangguan fasa ke tanah di satu tempat dalam sistem, sehingga 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 ke tanah sebagai akibat gangguan satu fasa ke tanah perlu diketahui :

1. Tegangan sistem tertinggi (system highest voltage) umumnya di ambil harga 110 % dari tegangan nominal sistem.
2. Koefisien pertanahan.

Didefinisikan sebagai perbandingan antara tegangan rms fasa ke tanah dalam keadaan gangguan pada tempat dimana arrester dipasang dengan tegangan rms fasa ke fasa tertinggi dari sistem dalam keadaan tidak ada gangguan.



Untuk menghitung besarnya tegangan nominal atau tegangan pengenal arrester dapat digunakan persamaan<sup>9</sup> :

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

Dimana :  $E_r$  = tegangan dasar arrester

$\alpha$  = koefisien pertanahan  $U_m$

$\beta$  = toleransi untuk perhitungan fluktuasi tegangan (105-110 %)

$U_m$  = tegangan nominal sistem

Koefisien dari sistem pertanahan untuk perhitungan besar tegangan dasar arrester dari persamaan diatas ada tiga macam yaitu :

1. Sistem yang diketanahkan langsung (efektif) koefisien pertanahannya 80% (0,8). Penangkal petir yang digunakan adalah disebut penangkal petir 80%.
2. Sistem yang tidak diketanahkan langsung (non efektif) koefisien pertanahannya 100% (1.0). Penangkal petir yang digunakan adalah disebut penangkal petir 100 %.
3. Sistem pertanahan isolasi (floating) koefisien pertanahannya 100 % (1.0). penangkal petir yang digunakan disebut penangkal petir 100 %.

Menurut rekomendasi IEC untuk tegangan sistem kurang dari 70 kV menggunakan pertanahan tidak langsung (non efektif), sedangkan untuk sistem dengan tegangan 150 kV menggunakan sistem pertanahan langsung (efektif).





Tabel 2.1 Tegangan pengenalan dan tegangan kerja arrester

Pengenalan Arrester (kV)	10 kA (kV)		5kA (kV)		2,5 (kV)		1,5 kA (kV)	
	STD	F.O.W	STD	F.O.W	STD	F.O.W	STD	F.O.W
0,175	-	-	-	-	2,2	2,5	2,2	
0,280	-	-	-	-	2,5	3,0	2,5	
0,500	-	-	-	-	3,0	4,5	3,0	
0,600	-	-	-	-	5,0	6,0	5,0	
3	13	15	21	26	13	15	-	
4,5	17,5	20	-	36	17,5	20	-	
6	22,6	26	40	44	22,6	26	-	
7,5	27	31	-	52	27	31	-	
9	32,5	38	58	59	32,5	38	-	
10,5	38	44	-	-	38	44	-	
12	43	50	70	73	43	50	-	
15	54	62	80	83	54	62	-	
18	65	75	85	91	65	75	-	
21	76	88	+++	106	76	88	-	
24	87	100	+++	121	87	100	-	
27	97	112	+++	133	97	112	-	
30	108	125	+++	143	108	125	-	
33	119	137	+++	+++	119	137	-	
36	130	150	+++	+++	130	150	-	
39	141	162	+++	+++	-		-	

STD = Tegangan percikan impuls maksimum

FOW = Tegangan percikan impuls muka gelombang



## 2.8. Arus pelepasan nominal

Arus pelepasan nominal adalah arus pelepasan dengan harga puncak dan bentuk gelombang tertentu yang digunakan untuk menentukan kelas dari arrester sesuai dengan kemampuan melakukan arus dan karakteristik perlingkungannya.

Kelas arrester terdiri dari 10 kA ; 5 kA ; 2,5 kA : 1,5 kA.

1. Kelas arus 10 kA yang digunakan untuk perlindungan gardu yang besar dengan frekuensi sambaran petir yang cukup tinggi dengan tegangan sistem diatas 70 kV.
2. Kelas arus 5 kA digunakan untuk tegangan dengan sistem kurang 70 kV.
3. Kelas arus 2,5 kA digunakan untuk gardu-gardu kecil dengan tegangan sistem dibawah 22 kV, dimana kelas 5 kA tidak lagi ekonomis.
4. Kelas arus 1,5 kA digunakan untuk melindungi trafo-trafo kecil.

Untuk menghitung besarnya arus pelepasan dari arrester dapat menggunakan persamaan sebagai berikut.

$$I_a = \frac{2.V_d - V_a}{Z} \dots\dots\dots(2.2)$$

Dimana :  $I_a$  = Arus pelepasan arrester

$V_d$  = Tegangan gelombang datang

$V_a$  = tegangan kerja

$Z$  = impedansi terpa dari hantaran

Untuk mencari besarnya arus pelepasan dari arrester, maka terlebih dahulu kita harus mencari besarnya impedansi terpa dari hantaran, dimana dapat menggunakan persamaan sebagai berikut :

$$Z = 60 \ln \frac{2 \times h}{r} \dots\dots\dots(2.3)$$

Dimana :  $h$  = tinggi rata-rata kawat fasa dari permukaan tanah (m)

$r$  = jari –jari penghantar (  $m^2$  )



Seperti yang ditunjukkan gambar 2.9, untuk mencari tinggi rata – rata kawat fasa dari permukaan tanah dapat digunakan persamaan :

$$h = h_t - \left( \frac{2 \times D}{3} \right) \dots \dots \dots (2.4)$$

Dimana :  $h_t$  = tinggi kawat fasa teratas dengan tinggi tiang(m)

$D$  = andongan kawat distribusi (m)

$$D = \frac{W \times S^2}{8 \times T} \dots \dots \dots (2.5)$$

Dimana :  $W$  = berat penghantar persatuan panjang

(kg/m)  $S$  = Jarak antara gardu tiang distribusi (m)

$T$  = Kuat tarik minimum dari penghantar (kg).

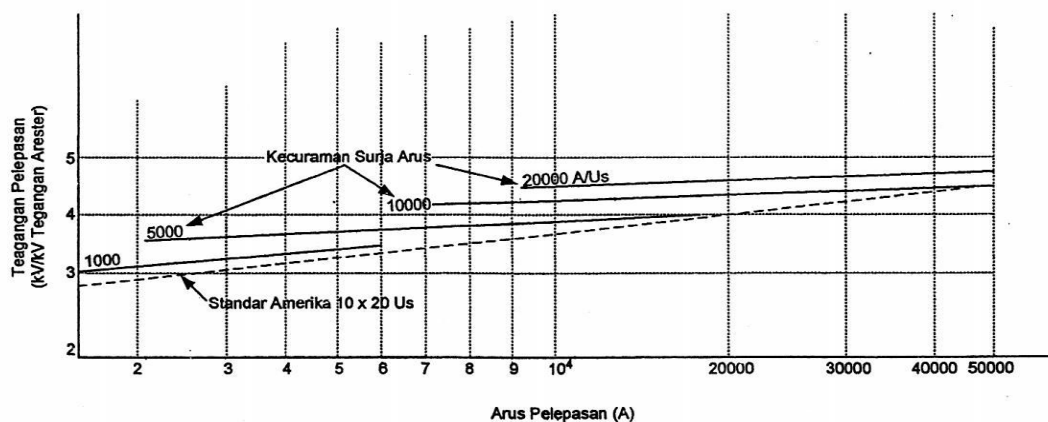


## 2.9. Tegangan Pelepasan atau Tegangan sisa ( Residual Voltage)

Tegangan pelepasan atau tegangan sisa adalah tegangan yang timbul diantar terminal penangkal petir pada saat arus mengalir ke tanah. Tegangan sisa dan tegangan nominal dari suatu penangkal petir tersebut tergantung pada kecuraman gelombang arus yang datang.

Pada umumnya tegangan pelepasan tidak akan melebihi tingkat isolasi dasar ( Basic Insulation Level) dari peralatan yang dilindungi walaupun arus pelepasan maksimumnya 65 kA atau 100 kA.

Jika diketahui suatu arus surja, maka tegangan pelepasan dari suatu arrester dapat dihitung dengan grafik dibawah ini, walaupun hasil perhitungan yang didapat tidak begitu tepat dengan kondisi sebenarnya. Perhitungan yang digunakan yaitu dengan cara mengalirkan besarnya tegangan pelepasan yang didapat dari grafik dengan tegangan dasar dari arrester.



**Gambar 2.10** Grafik tegangan pelepasan dari arrester

Selain perhitungan yang digunakan dengan cara mengalirkan besarnya tegangan pelepasan yang didapat dari grafik diatas dengan tegangan dasar dari arrester, perhitungan tegangan pelepasan arrester juga dapat ditentukan dari tabel dibawah ini.



Tabel 2.2 Tegangan Pelepasan

Pengena 1 Tegang an Arrester	Tegangan Pelepasan untuk arus 10 x 20 $\mu$ det					
	5.000 amp		10.000 amp		20.000 amp	
	Jenis gardu	Jenis Distribus	Jenis Gardu	Jenis Distribus	Jenis gardu	Jenis Distribus
3	11	17	13	20	14	23
6	22	34	25	38	27	44
9	33	51	37	57	39	66
12	44	62	48	69	52	78
15	55	77	60	87	65	99
18	.....	85	.....	94	.....	110

Hutauruk T.S. *Gelombang Berjalan dan Proteksi Surja*. Erlangga. Jakarta. 1991, Hal :109

### 2.9.1. Koordinasi Isolasi dan Usaha Penanggulangan Sambaran Petir.

Dalam pembangunan gardu tiang haruslah direncanakan isolasi yang aman dan ekonomis untuk semua peralatan dengan koordinasi isolasi yang tepat dengan alat pengamannya. Untuk gelombang tegangan dari sambaran petir, tegangan itu sangat tinggi sehingga hampir tidak mungkin mengisolasi peralatan sistem terhadap sambaran petir, dipakailah kawat tanah. Selain itu, dipakai pengaman yang cocok (arrester) untuk gelombang yang merambat kedalam gardu tiang. Peralatan sistem harus mempunyai ketahanan isolasi yang cukup sesuai dengan sistem pengamannya.

### 2.9.2. Usaha Penanggulangan terhadap sambaran petir langsung.

Sambaran langsung pada suatu gardu tiang atau pada saluran distribusi dekat gardu tiang merupakan bahaya terbesar terhadap gardu tiang tersebut. Kemungkinan sambaran langsung itu memang sangat kecil,



tetapi apabila sekali terjadi kerusakan yang dihasilkan akan sangat besar. Perlindungan kawat tanah dan tahanan pertanahan yang rendah perlu dilakukan untuk mengamankan gardu-gardu dan saluran – saluran didekat gardu.

### **2.9.3. Usaha Penanggulangan terhadap sambaran petir yang datang dari saluran ( sambaran tidak langsung)**

Penanggulangan terhadap gelombang petir yang datang memasuki gardu tiang dari saluran distribusi dilakukan dengan mengamankan peralatan terhadap tegangan lebih dengan arrester dan memberikan peralatan tersebut kekuatan isolasi terhadap tegangan impuls yang lebih besar dengan tingkat pengaman arrester. Pedoman – pedoman utama untuk perancangan isolasi adalah sebagai berikut :

1. Peralatan yang sama tegangan kerjanya yang ada dalam suatu gardu tiang harus mempunyai harga BIL yang sama , meskipun macamnya berbeda dan tempatnya berbeda pula. Menurut cara koordinasi isolasi tradisional, sering diberikan tingkatan isolasi lebih tinggi kepada suatu alat misalnya pemutus beban yang terletak diantar bagian-bagian sistem yang mempunyai tingkatan isolasi yang berbeda dengan maksud untuk mengamankan peralatan tersebut.
2. Peralatan yang terletak diluar daerah perlindungan arrester, misalnya trafo tegangan yang dihubungkan pada sisi saluran dari pemisah pada saluran distribusi dan kapasitas pengait untuk saluran telekomunikasi harus mempunyai tingkat isolasi 120 % dari BIL (Basic Insulation Level). Alat- alat ini dinaikan tingkat tingkat isolasinya sesuai dengan isolasi saluran karena alat-alat ini tidak diamankan oleh arrester dan tetap tersambung pada saluran pada waktu pemisahannya terbuka.



### 2.10. Pengetrapan Arrester

Hal – hal yang perlu di perhatikan agar pemakaian arrester dalam koordinasi isolasi dapat memberikan hasil yang maksimal adalah sebagai berikut :

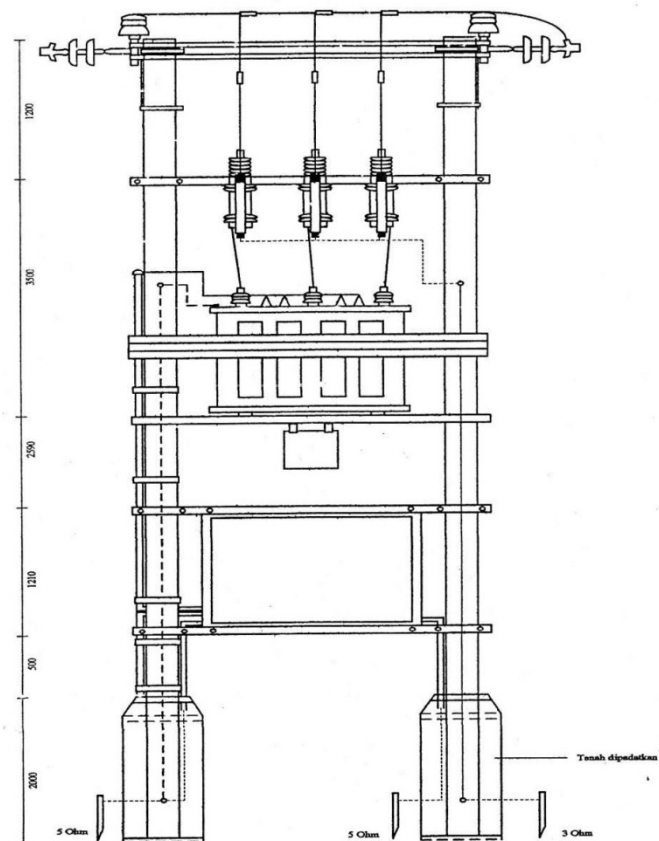
1. Tidak melampaui nilai 50 Herzt pada waktu pemakaian baik dalam keadaan normal maupun gangguan.
2. Arrester akan memberikan perlindungan jika ada selisih yang cukup antara tingkat arrester dan peralatan.
3. Arrester harus dipasang sedekat mungkin dengan peralatan utama dan tahanan tanahnya rendah.
4. Kapasitas thermis arrester harus dapat meneruskan arus yang besar yang berasal dari saluran yang panjang.
5. Jatuh tegangan maksimum dari arrester dipakai sebagaitingkat perlindungan arrester
6. Sebuah harga tegangan pelepasan arrester harus dapat ditetapkan untuk menentukan tingkat perlindungan arrester.
7. Pengaruh dari sejumlah kawat dalam melindungi kegawatan petir pada gardu tiang perlu diperhatikan pada pengetrapan arrester.



### 2.11. Saluran Distribusi

Saluran distribusi pada gardu tiang distribusi menghubungkan antara gardu tiang incoming dan gardu tiang out going. Selain itu, saluran distribusi ini juga menghubungkan antara gardu tiang incoming dan pelanggan.

Untuk tinggi gardu tiang distribusi 20 kV tingginya berkisar 12 – 20 meter, sedangkan jarak pemasangan berkisar antara 50 – 100 meter.



**Gambar 2.11** Gardu Tiang jaringan distribusi 20 kV

Jumlah piringan isolator yang digunakan pada gardu tiang distribusi 20 kV yaitu berjumlah enam buah. Dengan diketahui jumlah isolator ini, maka tegangan gelombang datang ke gardu tiang dapat diketahui dengan melihat tabel 2.3.





Tabel 2.3 Tegangan gelombang datang

Jumlah piringan isolator pin	Tegangan gelombang datang
1	150 v
2	255 v
3	355 v
4	440 v
5	525 v
6	610 v
7	695 v
8	780 v
9	860 v
10	945 v
11	1.025 v
12	1.105 v
13	1.185 v
14	1.265 v
15	1.345 v
16	1.425 v
18	1.585 v
19	1.665 v
20	1.745 v
25	2.145 v
30	2.550 v

Pada saluran distribusi 20 kV jenis penghantar yang digunakan adalah penghantar udara campuran aluminium telanjang (A3C). Berikut adalah konstruksi penghantar udara campuran aluminium telanjang (A3C) dapat dilihat dari tabel 2.4.


**Tabel 2.4** Konstruksi Penghantar Udara Campuran Aluminium Telanjang (A3C)

Luas Penampang Nominal ( mm <sup>2</sup> )	Luas Penampang sebenarnya ( mm )	Berat [kg/km]	Diameter Kawat Aluminium Nominal (mm)	Diameter Penghantar Nominal (mm)	Berat penghantar Nominal (g/m)	Kuat tarik Penghantar (Kg)
1	2	3	4	5	6	7
35	34,36	94	2,50	7,50	104	9,600
50	49,48	126	3,00	9,00	135	13,850
120	112,85	310	2,75	13,75	310	31,550
150	147,11	406	2,25	15,75	406	41,100
240	242,54	670	2,25	20,25	670	67,750
300	299,43	872	2,50	22,5	827	83,700

Buku1 kriteria saluran enjinereng kontruksi jaringan distribusi tenaga listrik.

Bab:3 Hal:5