

## BAB II

### LANDASAN TEORI

#### 2.1. Petir

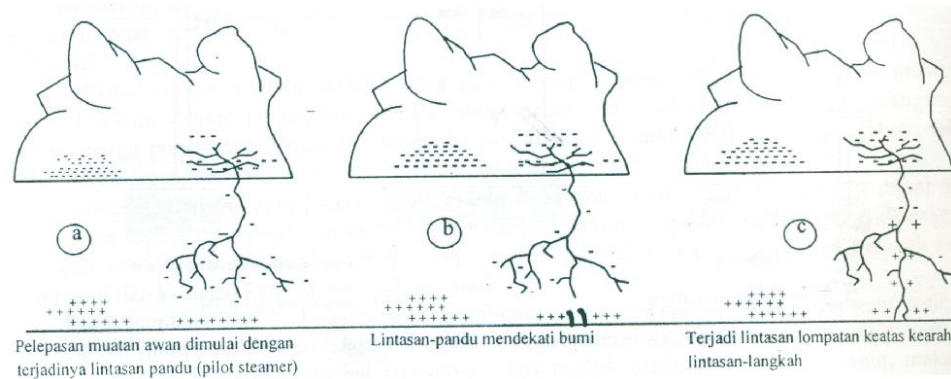
Sambaran petir merupakan salah satu penyebab timbulnya tegangan lebih pada sistem tenaga listrik. Petir itu sendiri adalah pelepasan muatan di udara antara awan, antara dua pusat muatan yang terpisah baik pada awan yang sama maupun antara awan dan bumi. Lebih banyak terjadi pelepasan muatan antara awan dengan awan daripada awan ke bumi, namun demikian pelepasan muatan antara awan dan bumi sudah cukup menimbulkan bahaya yang serius.

Terdapat sejumlah teori yang menerangkan bagaimana terjadinya awan yang bermuatan, tetapi bagi kita sudah memadai bila kita asumsikan bahwa selama terjadi petir yang disertai guruh (*thunder storms*) maka pada atmosfer terjadi proses berakumulasinya muatan pada awan atau pada bagian awan. Makin bertambahnya muatan, beda tegangan antara awan dan bumi menjadi lebih besar, dan karenanya gradient tegangan di atmosfer juga ikut meningkat. Gradient tegangan ini distribusinya tidak merata, lebih besar terdapat pada pusat muatan awan. Bila gradient tegangan ini melebihi batas tegangan tembus udara, maka terjadilah pelepasan muatan dan dimulailah lintasan (*steamer*) pelepasan yang biasanya disebut **lintasan pandu** (*pilot steamer*) dari awan ke arah bumi, lihat gambar 2.1a.

Setelah terjadi lintasan awal atau lintasan pandu, kemudian diikuti sinar terang yang melompat dengan cepat yang disebut **pelopor - langkah** (*stepped leader*). Untuk dapat dimulainya lintasan tersebut diperlukan gradient tegangan

5 sampai  $10 \text{ kV/cm}$ . Pandu lintasan yang dimulai dari awan membawa muatan akumulasi sepanjang lintasannya, seperti terlihat pada gambar 2.1b. Pandu lintasan ini akan bergerak terus ke bawah, apabila gradient tegangan dari ujung lintasan pandu ini berada pada tegangan tembus tertentu. Bila gradientnya tidak demikian, besar kemungkinan tidak terjadi sambaran petir sempurna, yaitu tidak sampai ke bumi.

Kecepatan merambat pandu lintasan ini  $\pm 0,05\%$  dari kecepatan cahaya atau kurang lebih  $30 \text{ cm}/\mu\text{det}$  dan arusnya terbatas pada ratusan amper. Bila pandu lintasan mendekati bumi, medan elektro-statisnya meningkat dan gradient pada permukaan bumi menjadi besar. Besarnya gradient pada permukaan bumi cukup kuat membuat lintasan lompatan ke arah atas menyongsong lintasan langkah (*stepped leader*), yang menghasilkan sinar yang amat terang yang arahnya menuju ke atas, mengikuti lintasan pandu semula, lihat gambar 2.1c. Arus yang terjadi pada saat ini sangat besar dan waktunya singkat ( $\pm 2,5 \text{ mA}/\mu\text{det}$ ) dan mengalir mengikuti lintasan pelopor sambil mengambil muatan bumi sehingga arusnya menjadi lebih besar lagi. Demikianlah proses berjalan berulang-ulang sehingga akhirnya beda muatan antara awan dan bumi menjadi kecil dengan demikian arus pun mengecil dan akhirnya berhenti mengalir. Sambaran kilat yang biasanya kita lihat nampaknya seperti sambaran tunggal, sedangkan pada keadaan sebenarnya merupakan sejumlah sambaran yang terpisah yang bergerak ke bawah pada lintasan utamanya.



Gambar 2.1. Proses Terjadinya Sambaran Petir<sup>1</sup>

## 2.2. Gelombang Sambaran Petir

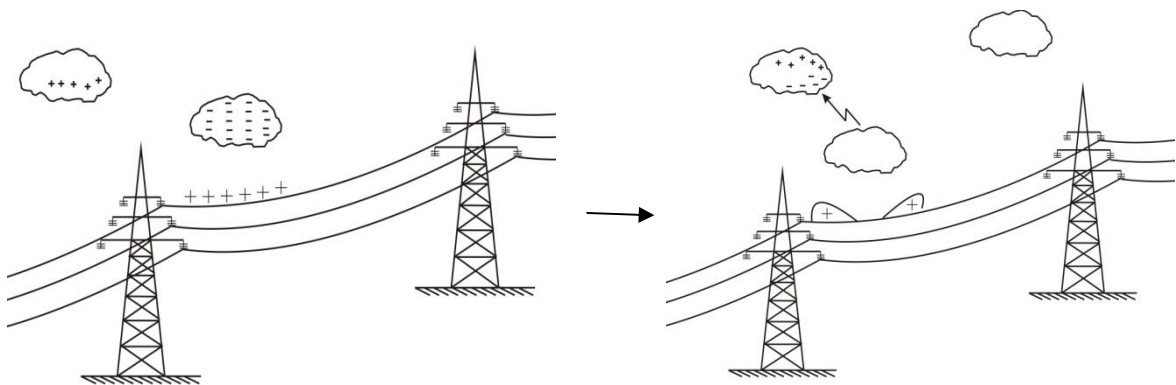
Sambaran langsung petir yang mengenai ril dan peralatan dalam gardu induk adalah yang paling hebat diantara gelombang berjalan lainnya yang datang ke Gardu induk. Sambaran ini mengakibatkan tegangan lebih (*over voltage*) yang sangat tinggi yang tidak mungkin dapat ditahan oleh isolasi yang ada.

Sambaran tidak langsung (sambaran induksi) dapat terjadi bila awan petir (*thunder cloud*) ada diatas peralatan yang berisolasi. Awan ini menginduksikan muatan listrik dalam jumlah besar dengan polaritas yang berlawanan dengan awan petir itu. Ini menimbulkan muatan terikat (*bound charges*). Bila terjadi pelepasan muatan dari awan petir itu, maka muatan terikat itu kembali bebas dan menjadi gelombang berjalan yang besarnya tergantung pada keadaan pelepasan itu. Hal ini dapat dilihat pada gambar 2.2

Sambaran dekat (*nearby stroke*) adalah gelombang berjalan yang datang ke gardu induk dari sambaran petir pada saluran transmisi pada titik yang jaraknya hanya beberapa kilometer dari gardu induk, dimana besarnya dibatasi oleh

<sup>1</sup> Hasan Basri, Sistem Distribusi Daya Listrik (Jakarta Selatan :Penerbit ISTN, 1997), hal. 221

tegangan lompatan dari isolator saluran itu bila rambatannya sepanjang saluran melalui beberapa tiang. Tetapi peredaman dari kecuraman (*steepness*) muka gelombang adalah sangat kecil, sehingga gelombang itu tetap curam, jika jarak rambatan pendek.



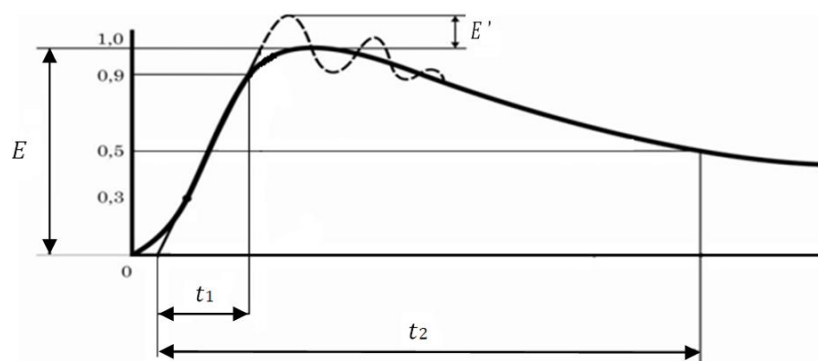
Gambar 2.2. Sambaran Petir Tidak Langsung<sup>2</sup>

Pada beberapa keadaan harga gelombang mencapai 120 sampai 130% dari BIL peralatan gardu induk dan kecuraman muka gelombang mencapai 500  $kV/\mu det$ . Namun, karena ril gardu induk tegangan tinggi yang besar kapasitansinya mencapai beberapa ribu  $\mu$  atau beberapa puluh ribu pF, maka kecuraman muka gelombang sering mengalami penurunan yang lumayan juga. Jika perisai (*shielding*) dari gardu induk dan saluran transmisinya cukup baik, gelombang yang mungkin datang ke gardu induk itu adalah dari sambaran petir yang jauh. Gelombang berjalan yang jauh ini mungkin berasal dari sambaran langsung pada saluran, dari sambaran induksi, dari sambaran lompatan balik (*back flashover*) dari tiang atau tengah gawang (*span*).

<sup>2</sup> Ibid. Hal. 223

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 harga puncak dan kecuramannya mengalami penurunan yang cukup banyak oleh adanya peredaman (*attenuation*) dan distorsi karena korona dan peredaman oleh efek kulit (*skin effect*) pada penghantar. Makin pendek ekor gelombang, makin terasa peredaman itu. Ia berubah dengan cara yang rumit tergantung dari polaritas (lebih besar untuk polaritas positif), harga puncak, besarnya penghantar, adanya kawat tanah di atasnya, bentuk gelombang dan sebagainya.

### 2.3. Karakteristik Surja Petir



Gambar 2.3. Spesifikasi Surja Petir

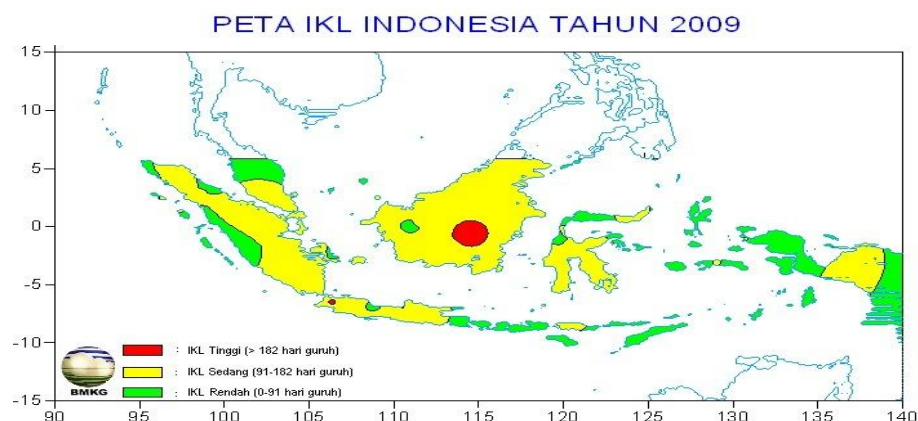
Spesifikasi dari surja petir:

- Puncak (*crest*) gelombang,  $E$  (kV) yaitu amplitudo maksimum dari gelombang
- Muka gelombang,  $t_1$  (*mikrodetik*) yaitu waktu dari permulaan sampai puncak.  
Dalam praktek diambil 10%  $E$  sampai 90%  $E$
- Ekor gelombang, yaitu bagian dibelakang puncak .  
Panjang gelombang,  $t_2$  (*mikrodetik*) yaitu waktu dari permulaan sampai titik 50%  $E$  pada ekor gelombang
- Polaritas, yaitu polaritas dari gelombang positif atau negatif.

## 2.4. Banyaknya Hari Guruh

Banyaknya hari guruh merupakan salah satu faktor terpenting dalam perencanaan isolasi suatu GI yaitu frekuensi guruh di daerah dimana GI itu berada dan di lintasan yang dilalui oleh saluran transmisinya. Di Indonesia banyaknya hari guruh setiap tahun dicatat dan banyaknya hari guruh rata-rata setiap tahun untuk setiap tempat (*IKL=Isokeraunic Level*) diterbitkan oleh Badan Meterologi, Klimatologi dan Geofisika. Karena ada hubungan erat antara banyaknya hari guruh rata-rata pada setiap tempat dan banyaknya gangguan saluran transmisi akibat petir di tempat yang sama, maka IKL sangat bermanfaat sebagai petunjuk untuk frekuensi gangguan petir.

Pada umumnya adanya GI di daerah yang banyak hari guruhnya dan saluran transmisi yang melalui daerah itu, memerlukan usaha penanggulangan terhadap petir yang cukup dibandingkan dengan daerah yang kurang banyak hari guruhnya. Meskipun demikian, segi ekonomi dan keandalan penyediaan tidak boleh diabaikan dalam usaha penanggulangan terhadap petir dengan keandalan tinggi.



Gambar 2.4. Peta IKL Indonesia Tahun 2009<sup>3</sup>

## 2.5. Gelombang Berjalan<sup>4</sup>

Sambaran petir yang terjadi pada suatu saluran akan menimbulkan surja, yaitu surja arus dan tegangan. Dari sudut pandang energi, surja ini merupakan penyuntikan energi secara tiba-tiba yang akan merambat pada saluran. Kecepatan merambat gelombang berjalan tergantung dari konstanta-konstanta kawat. Pada kawat di udara, kecepatan merambat ini kira-kira 300 meter per mikrodetik jadi sama dengan kecepatan cahaya. Pada kabel tanah kira-kira 150 meter per mikrodetik.

Saat gelombang energi merambat sepanjang kawat dengan konstanta L dan C, maka gelombang tegangan dan arus merambat dengan kecepatan yang sama. Kedua besaran ini dihubungkan oleh suatu faktor proporsional, yaitu karakteristik kawat itu. Bila kecepatan merambat gelombang itu  $v$  cm/detik, maka jumlah muatan yang dibutuhkan untuk mengisi kawat sepanjang  $v$  cm tiap detik adalah sebesar  $C E v$ . Muatan ini diberikan oleh arus yang mengalir pada kawat, dan untuk memberi muatan  $C E v$  dalam satu detik dibutuhkan arus sebesar :

$$I = C . E . v \text{ Ampere/dt} \quad 2.1$$

Bila gelombang itu telah merambat sejauh  $x$  cm, maka energi elektrostatis pada bagian ini ( $x$  cm) adalah :

$$W_c = \frac{1}{2} C . x . E^2 \text{ Watt/cm} \quad 2.2$$

Bila  $L$  = induktansi kawat per cm, maka dalam waktu yang sama, energi elektromagnetis pada kawat sepanjang  $x$  itu :

<sup>3</sup> Badan Meteorologi, Klimatologi dan Geofisika (BMKG). Tahun 2009

<sup>4</sup> Ir.T.S.Hutauruk. MEE, *Gelombang Berjalan dan Proteksi Surja*(Jakarta: Penerbit Erlangga,1991), hal. 2-4

$$WL = \frac{1}{2} L \cdot x \cdot I^2 \text{ Ohm/cm} \quad 2.3$$

Pada kawat udara dengan jari – jari  $r$  dan tinggi  $h$  di atas tanah,

$$L = \left( \frac{1}{2} + 2 \ln \frac{2h}{r} \right) \cdot 10^{-9} \text{ henry/cm} \quad 2.4$$

$$C = \frac{10^{-11}}{18 \ln \frac{2h}{r}} \text{ farad/cm} \quad 2.5$$

Faktor  $\frac{1}{2}$  pada persamaan di atas disebabkan oleh adanya fluks lingkup di dalam kawat (*internal flux*), dengan pemisalan bahwa distribusi arus merata. Tetapi pada gelombang berjalan efek kulit transient (*transient skin effect*) sangat besar sehingga arus berkumpul pada permukaan kawat, dengan demikian fluks lingkup dalam sangat kecil dan dapat diabaikan. Jadi :

$$L = 2 \left( \ln \frac{2h}{r} \right) \cdot 10^{-9} \text{ henry/cm} \quad 2.6$$

$$v = 1/\sqrt{LC} = 3 \times 10^{10} \text{ cm/detik} \quad 2.7$$

Terlihat disini bahwa kecepatan merambat dari gelombang berjalan pada kawat udara adalah sama dengan kecepatan cahaya dalam hampa udara. Sedangkan untuk kabel konduktor padat dengan jari-jari  $r$  dan isolasi pembungkus berjari-jari  $R$  dengan permitivitas  $\epsilon$ .

$$L = 2 \left( \ln \frac{R}{r} + \frac{1}{2} + \frac{r^2}{3R^2} - \frac{r^4}{12R^4} + \frac{r^6}{60R^6} - \dots \right) 10^{-9} \text{ henry/cm.} \quad 2.8$$

$$C = \frac{\epsilon 10^{-11}}{18 \ln R/r} \text{ farad / cm} \quad 2.9$$

Tetapi fluks lingkup dalam dapat diabaikan, dan karena  $r$  jauh lebih kecil dari  $R$ , maka suku-suku  $\frac{r^2}{3R^2}$  dan seterusnya dapat diabaikan. Jadi kecepatan merambat pada kabel menjadi :

$$v = 3 \times 10^{10} / \sqrt{\epsilon} \text{ cm/detik} \quad 2.10$$

Untuk kabel-kabel yang tersedia umumnya harga  $\varepsilon = 2,5 - 4$  Jadi kecepatan merambat dalam kabel kira-kira sebesar  $1/2$  sampai  $2/3$  dari kecepatan cahaya.

Besarnya impedansi surja (*surge impedance*) untuk saluran udara ialah sebesar :

$$z = E / I = 1 / Cv = vL \quad 2.11$$

$$z = \sqrt{L/C} = 60 \ln \frac{2h}{r} \quad \text{ohm} \quad 2.12$$

Sedangkan untuk kabel :

$$z = 60 \ln \frac{2h}{r} / \sqrt{\varepsilon} \quad \text{ohm} \quad 2.13$$

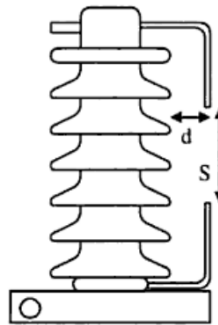
## 2.6. Pelindung Surja

Alat pelindung terhadap tegangan surja berfungsi melindungi peralatan sistem tenaga listrik dengan cara membatasi surja tegangan yang datang dan mengalirkannya ke tanah. Berkaitan dengan fungsi tersebut, alat pelindung harus dapat menahan tegangan sistem 50 Hz untuk waktu yang tidak terbatas dan juga dapat melewatkan surja arus ke tanah tanpa mengalami kerusakan. Alat pelindung yang baik mempunyai perbandingan perlindungan atau "*protective ratio*" yang tinggi, yaitu perbandingan antara tegangan surja maksimum yang diperbolehkan pada waktu pelepasan (*discharge*) dan tegangan 50Hz maksimum yang dapat ditahan sesudah pelepasan terjadi.

Terdapat tiga alat pelindung terhadap surja yang dikenal, yaitu: sela batang (*rod gap*), arester jenis ekspulsi (*expulsion type lightning arrester*) atau sering dikenal tabung pelindung (*protector tube*) dan arester jenis katup (*valve type lightning arrester*).

### 2.6.1 Sela Batang (Rod Gap)

Sela batang merupakan alat pelindung surja yang paling sederhana tetapi paling kuat dan kokoh. Tetapi sela batang ini jarang digunakan pada rangkaian yang penting karena dia tidak dapat memenuhi persyaratan dasar dari suatu alat pelindung yang sebenarnya.



Gambar 2.5. Sela Batang

Dia tidak dapat memutuskan arus susulan, jadi selalu berakibat timbulnya gangguan setiap ada surja yang menimbulkan lompatan api pada sela batang itu. Sela batang ini biasanya digunakan sebagai pelindung cadangan dalam hal arester dilepaskan dari saluran karena kerusakan atau karena sebab lain.

### 2.6.2. Arestor

Arestor petir disingkat arester, atau sering juga disebut penangkap petir merupakan alat perlindungan bagi peralatan sistem tenaga listrik terhadap surja petir. Ia berlaku sebagai jalan pintas (*by-pass*) sekitar isolasi. Arestor membentuk jalan yang mudah dilalui oleh arus kilat atau petir, sehingga tidak timbul tegangan yang lebih tinggi pada peralatan. Jalan pintas itu sedemikian rupa sehingga tidak mengganggu aliran arus daya sistem 50

Hz. Jadi pada kerja normal arester menjadi isolator sedangkan bila timbul surja dia akan berlaku sebagai konduktor yang mengalirkan arus yang tinggi ke tanah. Setelah surja hilang, arester harus kembali menjadi isolator dengan cepat, sehingga pemutus daya tidak sempat membuka.

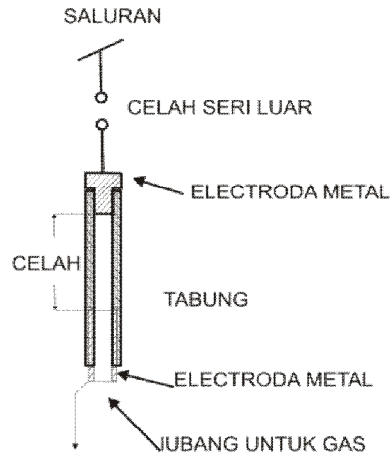
Hal inilah yang membedakan arester dengan sela batang, yaitu arester dapat memutuskan arus susulan tanpa menimbulkan gangguan. Hal inilah yang membuat arester menjadi pengaman surja yang istimewa. Arestor ini terdiri dari dua jenis yaitu jenis ekspulsi (*expulsion type*) atau tabung pelindung (*protector tube*) dan jenis katup (*valve type*)

#### **2.6.2.1. Arestor Jenis Ekspulsi**

Arestor jenis ekspulsi atau tabung pelindung pada prinsipnya terdiri dari sela percik yang berada dalam tabung serat dan sela percik batang yang berada di luar di udara atau disebut sela jari. Lihat gambar 2.5.

Bila ada tegangan surja yang tinggi sampai jepitan arester kedua sela percik, yang di luar dan yang di dalam tabung serat, tembus seketika dan membentuk jalan pengantar dalam bentuk busur api. Jadi arester menjadi konduktor dengan impedansi rendah dan melakukan surja arus dan arus daya sistem bersama-sama. Panas yang timbul karena mengalirnya arus petir menguapkan sedikit bahan dinding tabung serat, sehingga gas yang ditimbulkannya menyembur pada api dan mematikannya pada waktu arus susulan melewati titik nolnya. Arus susulan dalam arester 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.



Gambar 2.6. Elemen-Elemen Arestor Jenis Ekspulsi<sup>5</sup>

Arestor jenis ekspulsi ini memiliki karakteristik Volt-waktu yang lebih baik dari sela batang dan dapat memutuskan arus susulan. Tetapi tegangan percik impulsnya lebih tinggi dari arester jenis katup. Tambahan lagi kemampuan untuk memutuskan arus susulan tergantung dari tingkat arus hubung singkat dari sistem pada titik di mana arester itu dipasang. Dengan demikian perlindungan dengan arester ini dipandang tidak memadai untuk perlindungan transformator daya, kecuali untuk sistem distribusi.

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

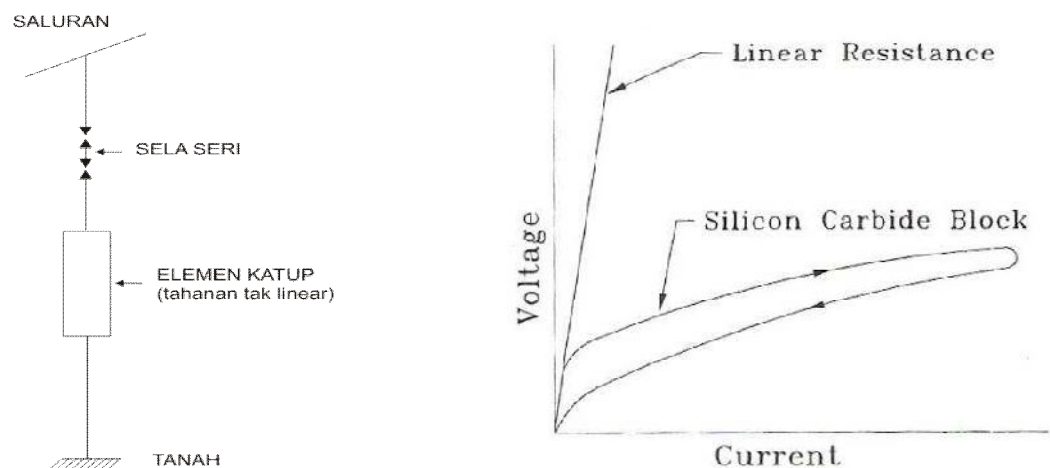
---

<sup>5</sup> Ibid. Hal.102

### 2.6.2.2 Arester Jenis Katup

Arester jenis katup ini terdiri dari sela percik terbagi atau sela seri yang terhubung dengan elemen tahanan yang mempunyai karakteristik tidak linear. 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 bisa memutuskan arus susulan. Dalam hal ini dia dibantu oleh tahanan tak linear yang mempunyai karakteristik tahanan kecil untuk arus besar dan tahanan besar untuk arus susulan dari frekuensi dasar.



Gambar 2.7 Elemen-Element Arester Jenis Katup dan Kurva Karakteristik V-I

Arester jenis katup ini terbagi dalam beberapa jenis, yaitu:

a. Arester Katup Jenis Gardu

Arester katup jenis gardu ini adalah jenis yang paling efisien dan juga paling mahal. Perkataan “gardu” ini berhubungan dengan pemakaiannya secara umum pada gardu induk besar. Umumnya dipakai untuk melindungi alat-alat

yang mahal pada rangkaian–rangkaian mulai dari 2,4 kV sampai 287 kV dan lebih tinggi lagi

b. Arester Katup Jenis Saluran

Arester jenis ini lebih murah dari arester jenis gardu. Kata saluran di sini bukanlah berarti untuk perlindungan saluran transmisi. Seperti arester jenis gardu, arester jenis ini juga dipakai di gardu induk untuk melindungi peralatan yang kurang penting. Arester jenis saluran dipakai pada sistem dengan tegangan 15 kV sampai 69 kV.

c. Arester Katup Jenis Gardu untuk Mesin-mesin

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

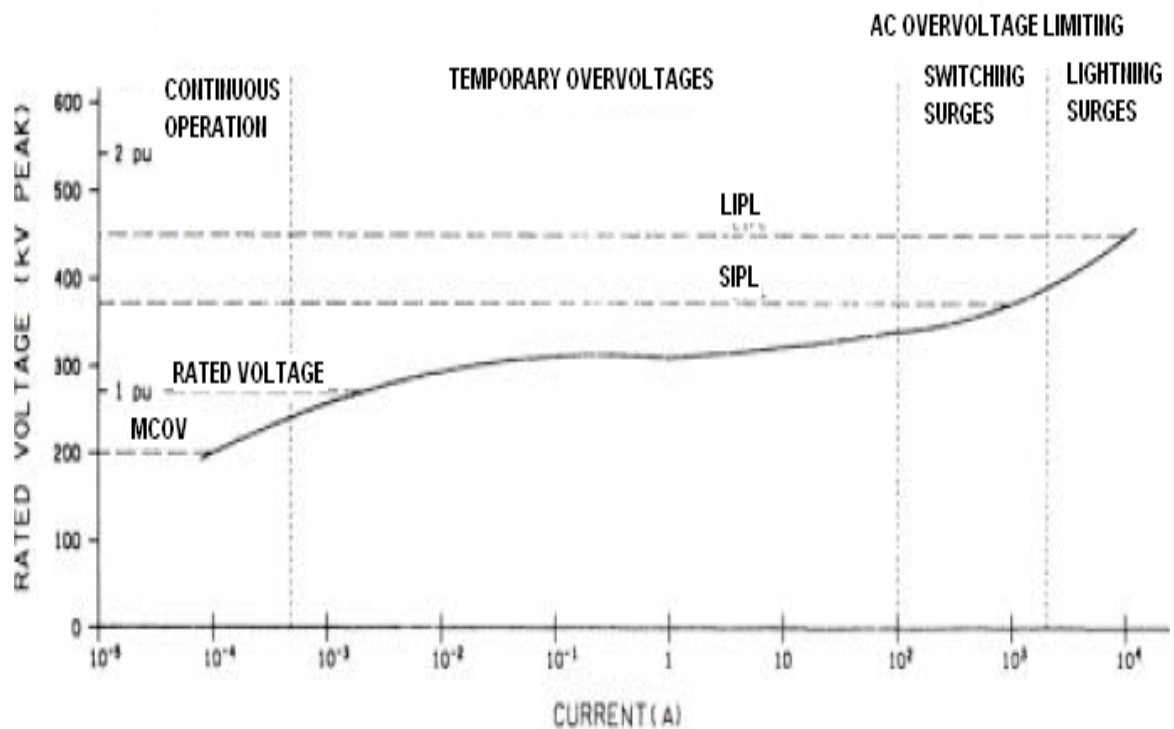
d. Arester Katup Jenis Distribusi untuk Mesin-mesin

Arester jenis distribusi ini khusus untuk melindungi mesin-mesin berputar seperti pada arester katup jenis gardu untuk mesin-mesin dan juga untuk melindungi transformator dengan pendingin udara tanpa minyak. Arester jenis ini dipakai pada peralatan dengan tegangan 120 – 750 volt

### **2.6.2.3. Arester Jenis Metal Oksida**

Material dasar Elemen valve dari arester jenis metal oksida terbuat dari Zinc Oksida dengan sejumlah komponen additive untuk memenuhi karakteristik sesuai dengan yang diinginkan. Material dasar penyusun keping blok MOSA adalah ZnO (~90% berat), sementara zat aditif lain terdiri dari: MnO, B<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, NiO, Sb<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (~10% berat). Senyawa ZnO memiliki kemampuan konduktivitas sangat baik ketika dilewati arus kerja *discharge-*

nya pada interval arus 1-100 kA, namun akan berlaku sebagai kapasitor atau resistansi tinggi ketika dilewati arus di bawah nilai tersebut. Hal ini terkait dengan Karakteristik Tegangan – Arus (V-I Characteristics) dari Senyawa Metal Oksida.



Gambar 2.8 Kurva Karakteristik V-I dari Arester Metal Oksida

Arester jenis metal oksida pada dasarnya sama dengan arester jenis katup silikon carbide. Hanya saja arester metal oksida tidak lagi mempergunakan komponen sela seri. Hal ini dikarenakan arester memiliki karakteristik V-I yang ekstrim, dengan demikian ukuran dari arester ini juga dapat dibuat lebih pendek.

## 2.7. Pemilihan Arester<sup>6</sup>

Dalam memilih arester yang tepat dan sesuai keperluan, ada beberapa hal yang harus kita perhatikan, yaitu:

- a. Kebutuhan perlindungan : hal ini berhubungan dengan kekuatan isolasi dari alat yang harus dilindungi dan karakteristik tegangan impuls arester
- b. Tegangan Sistem : yaitu tegangan maksimum yang mungkin timbul pada jepitan arester
- c. Arus hubung singkat sistem: ini hanya diperlukan pada jenis ekspulsi
- d. Jenis arester
- e. Faktor kondisi luar : apakah normal atau tidak normal (2000 m atau lebih diatas permukaan laut)
- f. Faktor ekonomi : faktor ekonomi adalah perbandingan antara ongkos pemeliharaan dan kerusakan apabila tidak ada arester, ataupun dipasang arester yang lebih rendah mutunya.

Untuk tegangan 69 kV dan lebih tinggi dipakai jenis gardu, sedangkan untuk tegangan 23 kV sampai 69 kV salah satu jenis arester lainnya dapat dipakai, tergantung pada segi ekonomisnya.

## 2.8. Tegangan Sistem

Yang dimaksud tegangan sistem adalah tegangan tertinggi yang mungkin timbul pada kawat. Tegangan tertinggi ini timbul pada waktu gangguan kawat ke tanah. Tegangan tertinggi itu tergantung juga pada metode pentanahan sistem.

---

<sup>6</sup> Ibid. Hal. 104

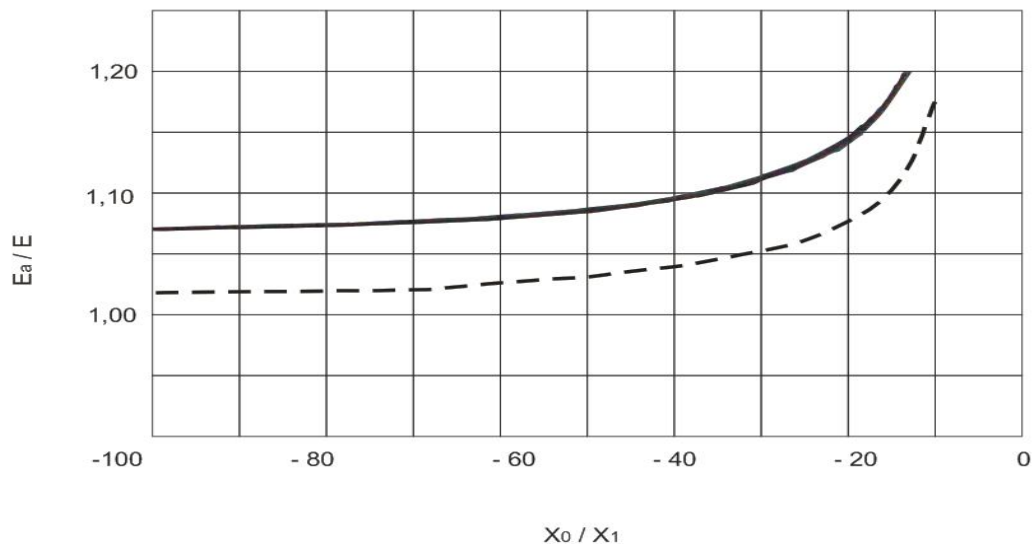
Tegangan sistem maksimum kawat ke tanah biasanya diambil 110% dari tegangan jala - jala.

Di bawah ini akan dibahas secara singkat pengaruh dari sistem pengetanahan terhadap tegangan maksimum yang mungkin timbul pada kawat dalam keadaan gangguan kawat ke tanah.

### 2.8.1. Sistem yang Tidak Diketanahkan atau Sistem Terisolir

Pada sistem yang tidak diketanahkan atau sistem terisolir, tegangan yang mungkin timbul pada arester dapat lebih besar dari tagangan jala-jala. Tegangan maksimum untuk pemakaian arester diambil 110% dari tegangan jala-jala. Arestes dengan tegangan ini dinamakan arester 100%.

$$\frac{E_a}{E} = \frac{\text{tegangan maksimum kawat ke tanah}}{\text{tegangan jala - jala}}$$



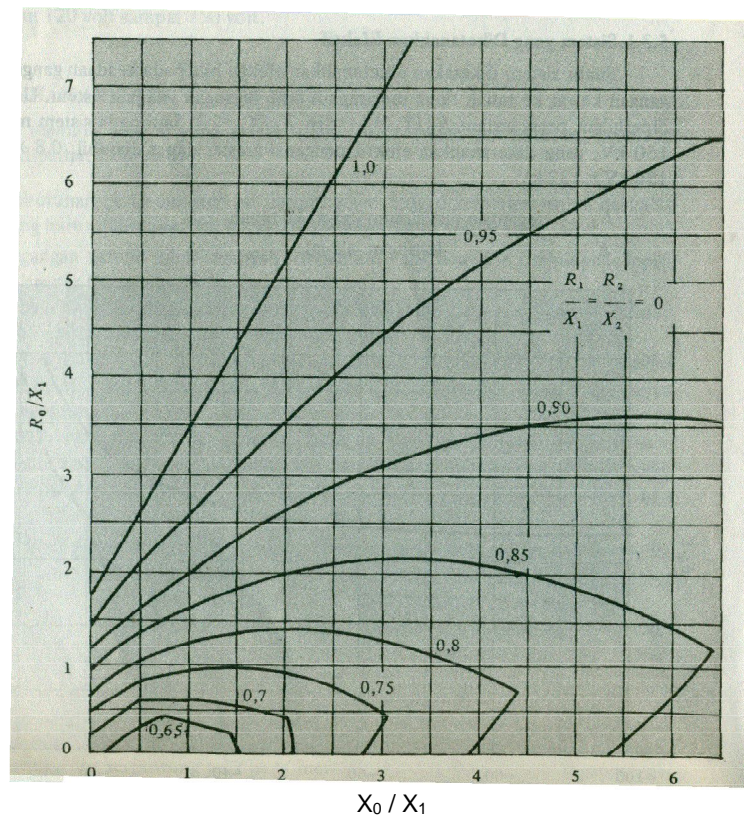
Gambar 2.9 Tegangan Maksimum Kawat ke Tanah pada Tempat Gangguan untuk Sistem yang Tidak Diketanahkan Waktu Terjadi Gangguan

### 2.8.2. Sistem Diketanahkan dengan Kumparan Petersen

Tegangan maksimum pada gangguan tanah sama dengan tegangan jala-jala atau arester 100%.

### 2.8.3. Sistem yang Diketanahkan Efektif

Sistem dikatakan diketanahkan efektif bila pada keadaan gangguan tegangan kawat ke tanah tidak melampaui 80% tegangan jala-jala sistem. Untuk ini diperlukan persyaratan  $R_0/X_1 \leq 1$  dan  $X_0/X_1 \leq 3$ .



Gambar 2.10 Lengkung-Lengkung Tegangan Maksimum Kawat ke Tanah untuk Sistem yang Diketanahkan Efektif maupun Tidak Efektif

#### **2.8.4. Sistem yang Diketanahkan Tidak Efektif**

Sistem yang diketanahkan tidak efektif ialah bila tegangan pada fasa sehat dalam keadaan gangguan kawat ke tanah lebih besar dari 80% tegangan jala-jala tetapi tidak melebihi 100%. Pengenal arester yang dipakai tergantung dari harga-harga  $R_0/X_1$  dan  $X_0/X_1$  di tempat arester. Tegangan maksimum kawat ke tanah untuk suatu sistem yang diketanahkan dengan impedansi dapat dicari dari gambar

#### **2.9. Tegangan Pengenal Arestor**

Bila arester dihubungkan antara fasa dan tanah pada sistem fasa-tiga, tegangan pengenal arester harus seharga atau lebih besar dari tegangan yang tertinggi pada frekuensi normal yang mungkin terjadi baik dalam keadaan operasi normal ataupun tidak. Dengan kata lain, tegangan pengenal arester dikaitkan dengan besarnya tegangan fasa ke tanah yang tertinggi sewaktu terjadi gangguan. Selama terjadi gangguan fasa ke tanah, fasa yang tidak terganggu tegangannya dapat meningkat menjadi tiga kali tegangan normalnya, karena arester harus tahan terhadap tegangan seperti ini, dan ini tergantung dari pentanahannya pada sistem tersebut.

Jadi macam pentanahan dari sistem amat mempengaruhi dalam pemilihan tegangan pengenal arester selama terjadi gangguan. Tegangan pengenal (rating) yang dipakai pada arester adalah tegangan maksimum frekuensi rendah (50 Hz) dimana arester tersebut bekerja dengan baik. Pada sistem yang titik netralnya tidak ditanahkan (terisolasi), tegangan maksimum pengenal arester tidak melebihi tegangan maksimum dari sistem tersebut. Arestor seperti ini dikenal dengan

arester 100%. Pada sistem yang ditanahkan, tegangan pengenal maksimum dari arester dapat diturunkan menjadi 80% dari tegangan maksimum sistem.

Pada pentanahan efektif, koefisien ini kurang dari 80%. Untuk sistem pentanahan tidak efektif, tegangan pengenal arester seharga atau lebih besar dari tegangan jala-jala sistem. Tegangan arester harus lebih besar dari tegangan jala-jalanya untuk sistem yang tidak ditanahkan. Dalam pengetrapan arester biasanya diberikan kelebihan tegangan (5-10%) dari keadaan normalnya.

## 2.10. Margin Perlindungan

Margin perlindungan merupakan selisih dari antara Tingkat Isolasi Dasar (TID) isolasi peralatan yang dilindungi dan tingkat perlindungan arester. Besar dari margin perlindungan biasanya diambil 20% dari TID peralatan, bila arester dipasang cukup dekat.

$$IM = \left( \frac{BIL}{KIA} - 1 \right) \times 100\% \quad 2.13^7$$

Dimana

$IM$  = Impuls Margin

$KIA$  = Karakteristik impuls dari arester

$BIL$  = Tingkat Isolasi Dasar peralatan

---

<sup>7</sup> Ir. Artono Arismunandar, Teknik Tegangan Tinggi (Jakarta:Penerbit PT Pradnya Paramita), hal.134