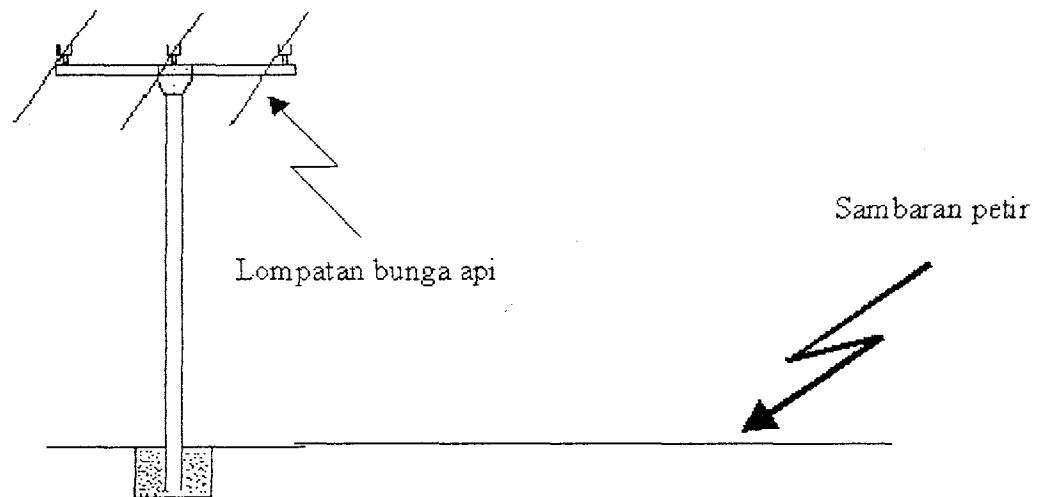


### 2.4.2 Sambaran Petir Induksi

Sambaran petir tidak langsung adalah sambaran yang tidak langsung mengenai peralatan atau saluran, akan tetapi melalui induksi atau merupakan lompatan bunga api karena kenaikan tegangan tiang jaringan yang disebabkan tingginya tahanan kontak tiang atau lompatan bunga api karena kecuraman muka gelombang petir (Hutahuruk, 1989).



Gambar 2.5 Sambaran Petir Induksi

## 2.5 PENANGKAPAN PETIR OLEH SALURAN UDARA TEGANGAN MENENGAH

Gangguan petir yang mengenai saluran tenaga listrik dapat menyebabkan kerusakan pada sistem tenaga listrik. Dalam perencanaan perluasan jaringan tegangan menengah perlu diperhitungkan gangguan akibat sambaran petir induksi. Perhitungan ini akan memberikan gambaran dalam pemilihan tinggi tiang dan

konfigurasi tiang yang digunakan sebagai penunjang saluran udara tegangan menengah, sehingga secara tidak langsung dari segi teknik maupun ekonomis sangat menguntungkan.

Pada saluran udara tegangan menengah (SUTM) gangguan kilat akibat sambaran langsung atau sambaran induksi tidak boleh diabaikan. Justru gangguan kilat akibat sambaran induksi ini lebih banyak dibandingkan dengan gangguan kilat akibat sambaran langsung (Hutahuruk, 1989)

Hal ini disebabkan oleh :

- a. Karena tingkat ketahanan impuls isolasi  $V_{50\%}$  dari isolator SUTM relatif rendah. Misalnya isolasi 20 kV mempunyai ketahanan impuls  $V_{50\%} = 160$  kV dan ini rendah.
- b. Karena luasnya daerah sambaran induksi, jadi jumlah sambaran kilat induksi jauh lebih banyak dibanding dengan jumlah sambaran langsung.

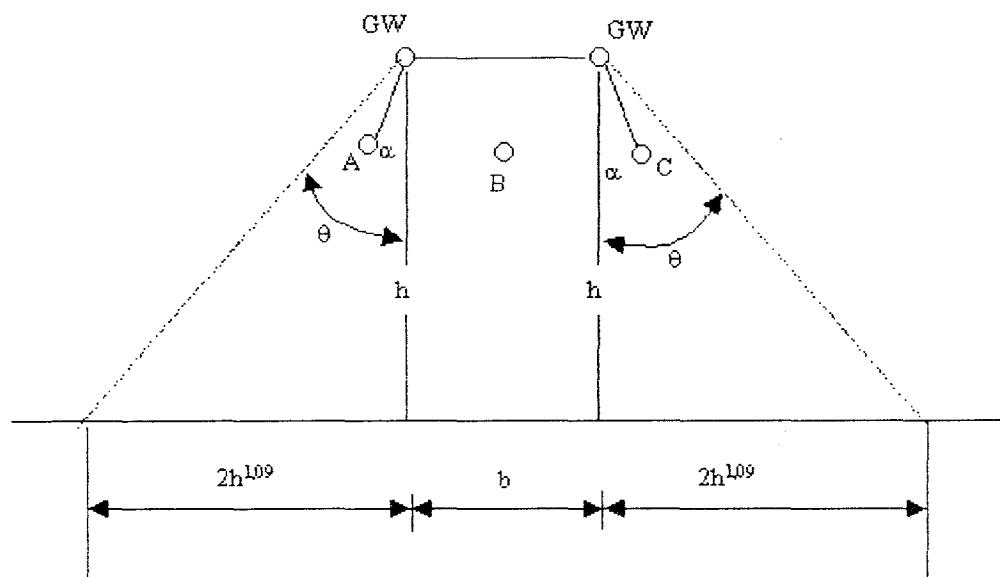
Gangguan kilat pada saluran udara tegangan menengah dibedakan menjadi dua macam gangguan menurut cara terjadinya sambaran, yaitu sambaran kilat langsung dan sambaran kilat induksi. Sebagai mana diketahui panjang gawang saluran udara tegangan menengah berkisar antara 40 sampai 80 meter, tetapi pengetanahan tiang dilakukan selang 3 sampai 4 gawang, yaitu untuk saluran dengan kawat tanah atau kawat netral. Jadi sambaran langsung semua pada tiang, baik pada tiang yang diketanahkan maupun pada tiang yang tidak diketanahkan dengan jumlah sambaran dianggap sama.

Suatu saluran transmisi yang berada di atas tanah akan membuat suatu bayangan listrik pada tanah yang ada dibawahnya dari sambaran petir. Petir yang

menyambar ke tanah dalam daerah bayang-bayang listrik akan menyambar saluran, sedang petir yang menyambar tanah di luar bayang-bayang listrik tidak akan mengenai saluran.

Lebar bayang-bayang  $W$ ,

$$W = (b + 4h^{1,09}) \text{ meter} \dots\dots\dots(2.2)$$



Gambar 2.6 Lebar Jalur Perisaian Terhadap Sambaran Petir

dengan :

$b$  = Jarak pemisah antara kedua kawat, meter (bila kawat tanah hanya satu maka  $b = 0$ ).

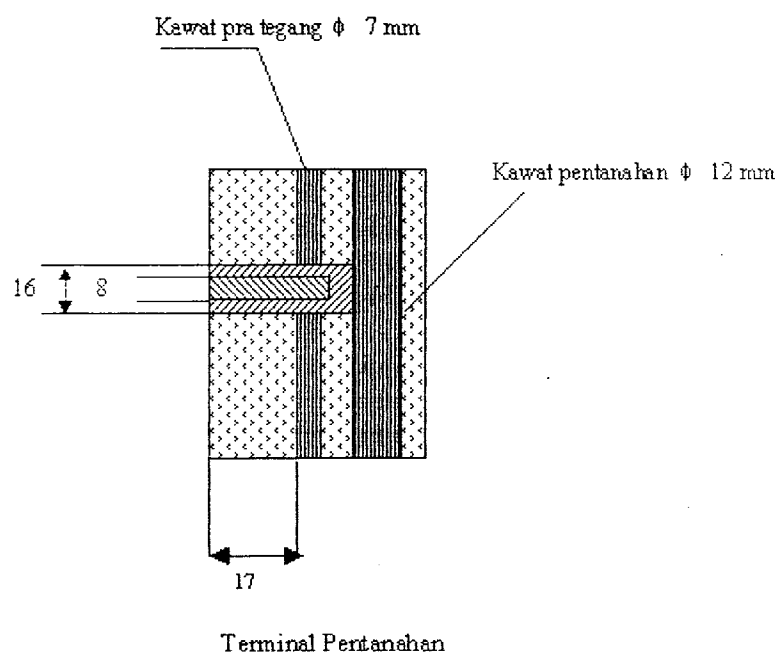
## 2.6 KONSTRUKSI TIANG BETON SALURAN UDARA TEGANGAN MENENGAH

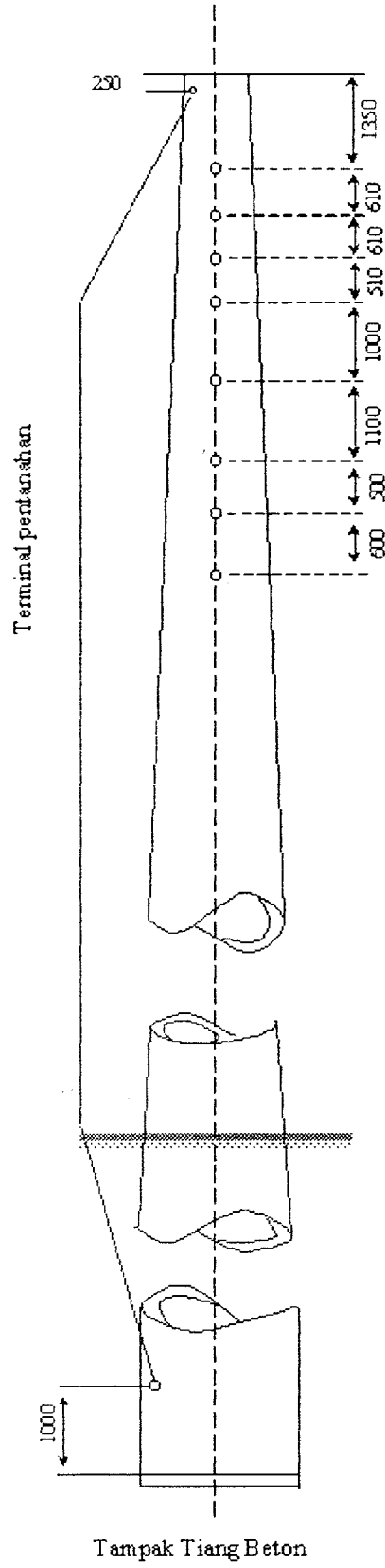
Konstruksi tiang saluran udara tegangan menengah yang ditemui dilapangan ada dua macam, yaitu tiang besi dan tiang beton. Konstruksi tiang beton untuk semua

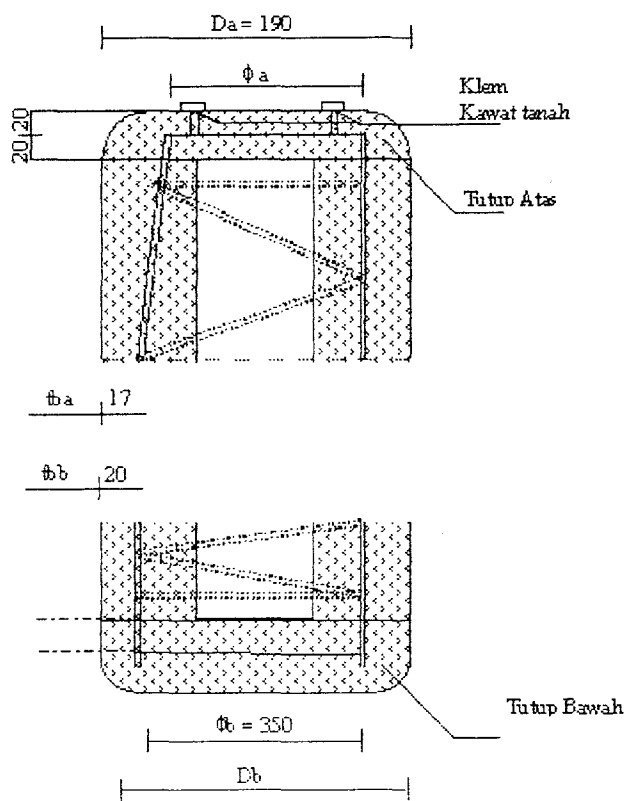
konfigurasi saluran udara tegangan menengah yang ada pada dasarnya sama yaitu tiang beton pra tegang,

Dibanding penggunaan tiang kayu atau tiang besi, tiang beton dilihat dari segi ekonomi dalam jangka panjang relatif menguntungkan, karena tidak adanya biaya perawatan. Tiang yang diketanahkan mempunyai tahanan kontak 20 Ohm dan tiang yang tidak diketanahkan mencapai beberapa ratus sampai ribuan Ohm tergantung pondasi (batu kali dengan pasir / tanah atau beton cor) dan keadaan tanah (basah, kering atau tanah berpasir). Sebagai harga rata-rata disarankan menggunakan 100 Ohm untuk tiang besi dan 500 Ohm untuk tiang beton (Hutahuruk, 1989).

Setelah kilat menyambar tiang, gelombang merambat pada tiang ke dasar tiang. Pada dasar tiang terjadi pantulan, dan gelombang pantulan ini merambat ke puncak tiang dimana gelombang mengalami pantulan kembali. Jadi pada tiang terjadi pantulan ulang. (Hutahuruk, 1989)



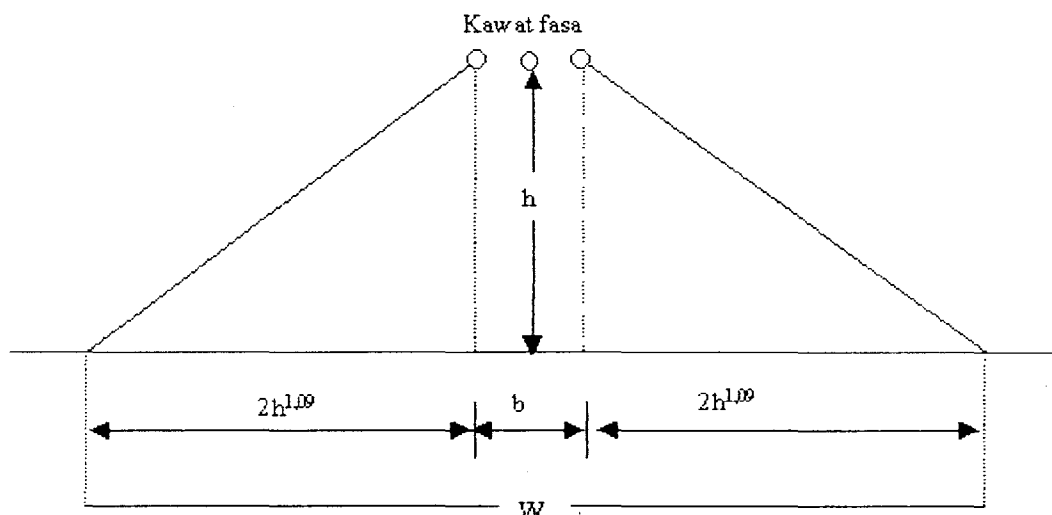




Gambar 2.7 Konstruksi Tiang Beton

## 2.7 KONFIGURASI TIANG SALURAN UDARA TEGANGAN MENENGAH

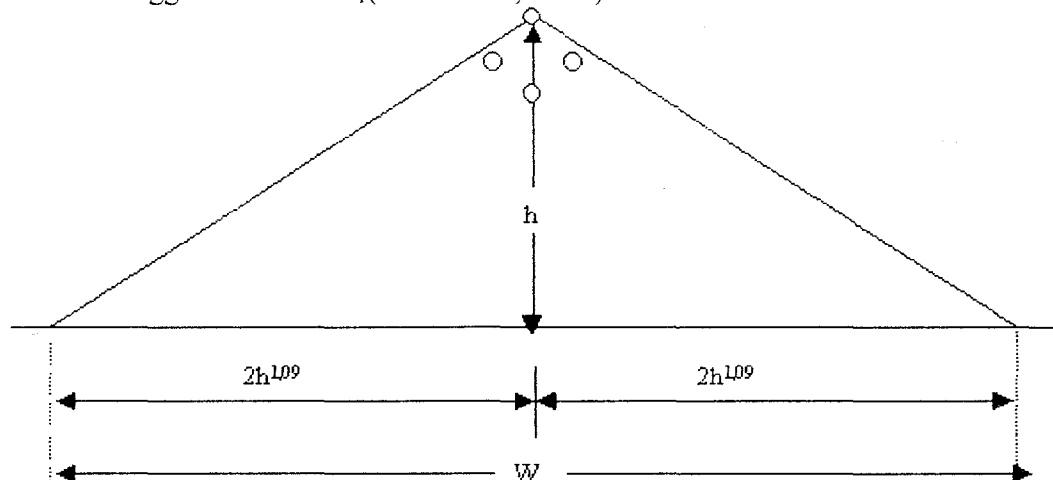
### 2.7.1 Konfigurasi Tiang tanpa Kawat Tanah atau Netral



Gambar 2.8. Konfigurasi tiang tanpa kawat tanah atau netral

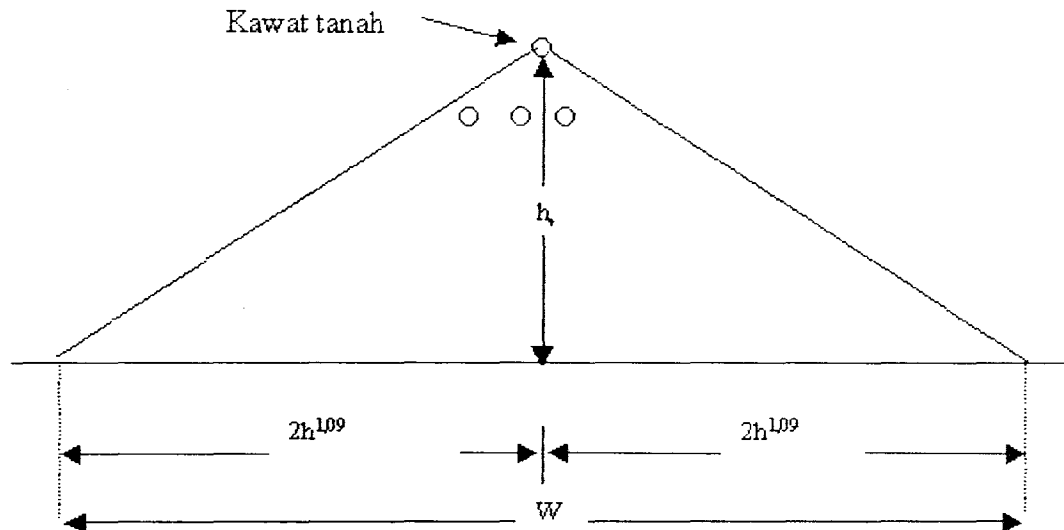
### 2.7.2 Konfigurasi Tiang dengan Kawat Netral

Pada saluran tiga fasa dengan empat kawat, yaitu tiga kawat fasa dan satu kawat netral, dan tidak ada kawat tanah, maka pengaruh kawat netral itu terhadap tegangan induksi pada kawat fasa sama seperti pengaruh kawat tanah pada tegangan induksi pada kawat fasa. Dalam hal ini tinggi kawat netral di atas tanah  $h_2$  lebih rendah dari tinggi kawat fasa  $h_1$  (Hutahuruk, 1989)



Gambar 2.9. Konfigurasi tiang dengan kawat netral

### 2.7.3 Konfigurasi dengan Kawat Tanah



Gambar 2.10. Konfigurasi tiang dengan kawat tanah

Kawat tanah atau kawat perisai (*shielding wire*) adalah kawat-kawat pada saluran udara yang ditempatkan diatas kawat-kawat fasa. Mulanya kawat tanah ini dimaksudkan sebagai pelindung terhadap sambaran induksi kilat di sekitar kawat transmisi. Akan tetapi kemudian ternyata dari hasil-hasil pengalaman maupun teori, sebab utama yang menimbulkan gangguan pada saluran transmisi tegangan tinggi 70 KV atau lebih adalah sambaran kilat langsung. Jadi pada saluran transmisi tegangan tinggi 70 KV dan lebih adalah sambaran kilat langsung yang diperhatikan. Pada saluran tegangan menengah sampai 34,5 KV justru sambaran tidak langsung yang menyebabkan lebih banyak gangguan.

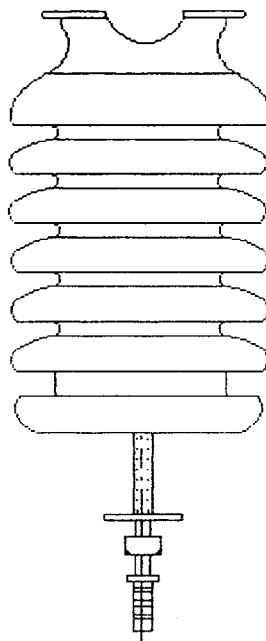
## 2.8 ISOLATOR

Isolator untuk saluran transmisi menurut konstruksinya dibagi menjadi isolator gantung (*suspension*), jenis pasak (*pin-type*), jenis batang panjang (*long-type*), jenis pos-saluran (*line-post*).



Gandengan isolator gantung pada umumnya digunakan pada saluran transmisi tegangan tinggi, sedangkan isolator batang panjang digunakan dimana pengotoran udara karena garam dan debu banyak terjadi. Jenis pasak dan pos saluran digunakan pada saluran transmisi yang relatif rendah.

Jenis pasak dan pos saluran terbuat dari porselin, yang dibagian bawahnya diberi tutup (*thomble, cap*) besi cor yang disemenkan pada porselen serta pasak baja yang disekrupkan padanya. Karena jenis ini dipakai sendiri (tidak dalam gandengan) serta kekuatan mekanisnya rendah, maka tidak dibuat dalam ukuran besar (Arismunandar, 1988).



Gambar 2.11 Isolator Pos-Saluran

## 2.9 GANGGUAN PETIR PADA SALURAN UDARA TEGANGAN MENENGAH

### 2.9.1 Impedans Surja

Impedans surja yang perlu diperlihatkan untuk perhitungan jumlah gangguan petir pada saluran udara ada tiga macam, yaitu :

- a. Impedans sendiri satu kawat tanah atau kawat netral.

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

- b. Impedans bersama satu kawat udara dengan kawat lain.

$$Z_{nl} = 60 \ln \frac{2a}{b} \dots\dots\dots(2.4)$$

- c. Impedans surja tiang.

$$Z_t = 60 \ln \left( \frac{h_t}{r_t} \right) + 90 \left( \frac{h_t}{r_t} \right) - 60 \dots\dots\dots(2.5)$$

dengan :

$Z_n$  = Impedans sendiri

$Z_{nl}$  = Impedans bersama

$Z_t$  = Impedans tiang

$h$  = Tinggi kawat di atas permukaan tanah

$h_t$  = Tinggi tiang

$r_t$  = Jari-jari tiang

$r$  = Jari-jari penampang kawat

$b$  = Jarak pemisah antar kawat

$a$  = Jarak penghantar dengan bayangannya

### 2.9.2 Tegangan Induksi Pada Saluran Transmisi Akibat Sambaran Induksi

Arus kilat pada tanah mempunyai waktu muka gelombang yang kecil dan ekor yang panjang. Selama proses pelompatan kepala (*stepped leader*) suatu muatan  $q$  telah terdistribusi secara merata sepanjang kanal kilat (*lighting channel*), kemudian sambaran balik yang berupa surja arus dengan bentuk fungsi langkah akan bergerak keatas dengan kecepatan sama dengan kecepatan sinar dan menetralkan muatan yang ada pada kanal kilat. Hubungan antara arus  $I_0$  dan muatan  $q_0$  adalah

$$I_0 = cq_0 \dots\dots\dots(2.6)$$

dengan :

$I_0$  = harga puncak arus kilat selama sambaran balik

$C$  = kecepatan merambat sambaran balik

$q_0$  = muatan listrik pada lintasan kilat per satuan panjang

Sehingga diperoleh persamaan dari tegangan induksi sebagai berikut :

$$V_{ind} = 2Z_0 I_0 h \left( \frac{C_0}{C} \right) \left[ \frac{1}{\sqrt{(L^2 + r_0^2)(ct)^2 + \{1 - (c/c_0)^2\} r_0^2}} \right] \dots\dots\dots(2.7)$$

di mana :

$$Z_0 = \frac{1}{4\pi} \left( \frac{\mu_0}{\epsilon_0} \right)^{\frac{1}{2}} = \frac{1}{4} \left( \frac{1,26 \times 10^{-6}}{8,84 \times 10^{-12}} \right)^{\frac{1}{2}} = 30 \Omega \dots\dots\dots(2.8)$$

dengan :

$\mu_0$  = Permiebilas ruang hampa

$\epsilon_0$  = Permietifitas ruang hampa

$h$  = Tinggi kawat di atas tanah

- $C_0$  = Kecepatan merambat sinar
- $C$  = Kecepatan merambat sambaran balik
- $L$  = Panjang total jalan kilat
- $r_0$  = Jarak kawat fasa dengan sambaran kilat
- $t$  = Waktu

juga telah diturunkannya besar potensial vektor penginduksi,

$$h \frac{\partial A_{ind}}{\partial t} = 2Z_0 I_0 \left( \frac{c}{c_0} \right) h \frac{1}{\sqrt{(ct)^2 + \left[ 1 - \left( \frac{c}{c_0} \right)^2 \right] r_0}} \dots\dots\dots (2.9)$$

Dari persamaan 2.7 dan 2.8 di atas diperoleh harga gelombang tegangan induksi untuk masing-masing komponen yaitu :

$$V_1 = V_{ind}(x) + \frac{1}{2} h \frac{\partial A_{ind}}{\partial t}$$

$$V_2 = V_{ind}(-x) + \frac{1}{2} h \frac{\partial A_{ind}}{\partial t} \dots\dots\dots (2.10)$$

atau

$$V_1 = Z_0 I_0 h \left( \frac{c}{c_0} \right) \left\{ \frac{c_0^{t-x}}{\left[ y^2 + \left( \frac{c}{c_0} \right)^2 \right] (c_0^{t-x})} \right\}$$

$$x \left\{ 1 + \frac{x + \left( \frac{c}{c_0} \right)^2 (c_0^{t-x})}{\sqrt{\left( \frac{c}{c_0} \right)^2 (c_0^t) + \left[ 1 - \left( \frac{c}{c_0} \right)^2 \right] (x^2 + y^2)}} \right\}$$

$$V_2 = V_1 (-x) \dots\dots\dots (2.11)$$

Jadi jumlah gelombang tegangan induksi akibat sambaran tidak langsung adalah

$$V = V_1 + V_2 \dots \dots \dots (2.12)$$

Dalam persamaan (2.12)

$x$  = koordinat sepanjang kawat;  $x = 0$  adalah titik yang paling terdekat dengan sambaran kilat.

$y$  = jarak kawat dengan sambaran kilat vertikal.

Pada titik  $x = 0$ , yaitu titik terdekat ke sambaran, maka setelah disubstitusi

dalam persamaan (2.11) dan (2.12), dan mengingat  $\frac{c}{c_0}$  kecil, diperoleh harga

maksimum

$$V_{0,\text{maks}} = \frac{Z_0 I_0 h}{y} \left( 1 + \frac{1}{\sqrt{2}} \frac{c}{c_0} \frac{1}{\left( 1 - \frac{1}{2} \left( \frac{c}{c_0} \right)^2 \right)^{\frac{1}{2}}} \right) \dots \dots \dots (2.13)$$

Harga  $\frac{c}{c_0} = 0,1$  sampai  $0,5$  jadi

$$V_{0,\text{maks}} = \frac{Z_0 I_0 h}{y} (1,07 - 1,38)$$

Dari persamaan (2.13) diketahui bahwa tegangan induksi tidak begitu tergantung pada kecepatan merambat dari sambaran balik kilat tegangan induksi pada saluran di titik yang jauh dari sambaran, yaitu bila diisikan  $x = \pm \infty$ . Bila harga ini diisikan pada persamaan 2.12 dan kemudian dihitung tegangan induksi pada titik terjauh diperoleh

$$V_j = V_{\infty \text{ maks}} = \frac{Z_o I_o h}{y} = \frac{30 I_o h}{y} \dots\dots\dots (2.14)$$

### 2.9.3 Pengaruh Kawat Tanah dan Kawat Netral Terhadap Tegangan Induksi

Dalam menghitung pengaruh kawat tanah terhadap tegangan induksi diperkenalkan faktor perisaian (FP) yang didefinisikan sebagai hasil bagi tegangan induksi dengan kawat tanah dan tegangan induksi tanpa kawat tanah.

Dimisalkan satu kawat tanah dengan tahanan kontak tiang sebesar R, seperti pada gambar 2.12 Bila tegangan yang timbul pada kawat 2 (kawat tanah) sebelum diketanahkan adalah  $V_2$ , maka arus yang melalui impedans setelah di ketanahkan dengan R adalah

$$I_2 = \frac{V_2}{R + \left(\frac{Z_{22}}{2}\right)} \dots\dots\dots (2.15)$$

dengan

$V_2$  = tegangan induksi pada kawat 2 sebelum di ketanahkan

$Z_{22}$  = Impedans surja kawat 2

R = Tahanan kontak ketanah

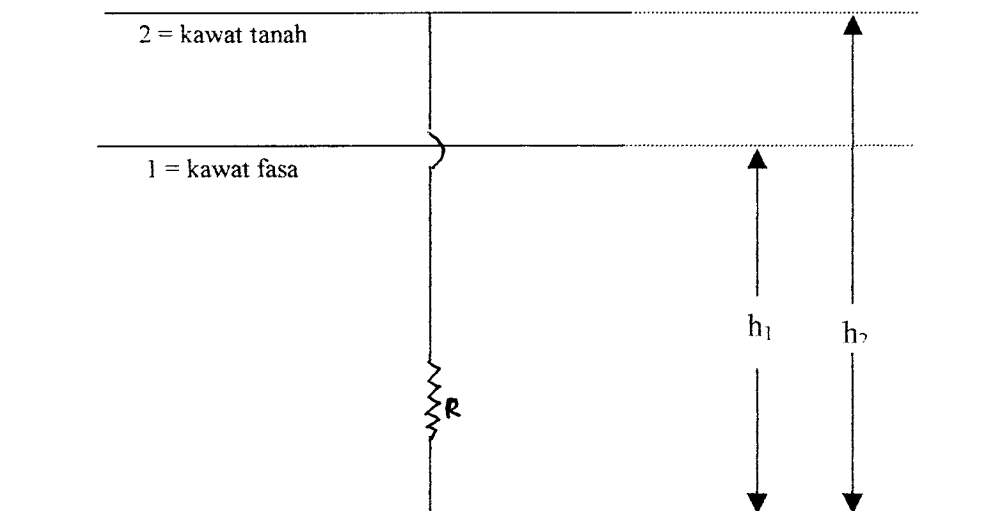
$I_2$  = Arus yang mengalir pada hubungan ke tanah

Arus ini memberikan kenaikan pada gelombang tegangan pada kawat fasa 1 sebesar  $\Delta V_2$ , yaitu :

$$\begin{aligned} \Delta V_2 &= Z_{12} \left( \frac{-I_2}{2} \right) \\ &= - \frac{Z_{12} V_2}{2R + Z_{22}} \dots\dots\dots (2.16) \end{aligned}$$

dengan :

$Z_{12}$  = Impedans surja bersama kawat tanah dengan kawat fasa



Gambar 2.12 Pengaruh kawat tanah terhadap tegangan induksi

Jadi besar tegangan pada kawat fasa 1 setelah kawat fasa 2 di ketanahkan,

$$V'_1 = V_1 + \Delta V_2$$

atau

$$V'_1 = V_1 - \frac{Z_{12}}{2R + Z_{22}} V_2 \dots \dots \dots (2.16)$$

Jadi Faktor perisaian (FP) adalah

$$FP = \frac{V'_1}{V_1} = 1 - \frac{Z_{12}}{2R + Z_{22}} \frac{V_2}{V_1} \dots \dots \dots (2.17)$$

dengan

$V'_1$  = tegangan induksi pada kawat 1 setelah kehadiran kawat tanah 2

$V_1$  = tegangan induksi pada kawat 1 sebelum kehadiran kawat tanah 2

Karena tegangan induksi sebelum diketanahkan sebanding dengan tinggi kawat di

atas tanah atau  $\left(\frac{V_2}{V_1}\right) = \left(\frac{h_2}{h_1}\right)$ , maka persamaan diatas menjadi,

$$FP = 1 - \frac{Z_{12}}{2R + Z_{22}} \frac{h_2}{h_1} \dots\dots\dots (2.18)$$

sehingga dari persamaan itu diperoleh

$$V'_1 = \left(1 - \frac{Z_{12}}{2R + Z_{22}} \frac{h_2}{h_1}\right) V_1 \dots\dots\dots (2.19)$$

dengan

$h_1$  = tinggi rata-rata kawat fasa 1 di atas tanah

$h_2$  = tinggi rata-rata kawat tanah 2 di atas tanah

#### 2.9.4 Jumlah Gangguan Kilat Akibat Sambaran Induksi

Suatu kawat berada setinggi  $h$  diatas tanah, misalkan terjadi sambaran kilat vertikal menyambar tanah pada jarak  $y$  dari kawat, maka besar tegangan induksi adalah :

$$V_i = \frac{30I_0 h}{y}$$

dengan :

$V_i$  = tegangan induksi pada kawat, kV

$I_0$  = besar arus kilat, kA

$h$  = tinggi kawat diatas tanah, m

$y$  = jarak horizontal antara sambaran kilat dengan kawat, m



Jika saluran dilengkapi dengan kawat tanah, maka besar tegangan induksi pada kawat fasa adalah:

$$V'_1 = \left( 1 - \frac{Z_{12}}{2R + Z_{22}} \frac{h_2}{h_1} \right) V_i \dots \dots \dots (2.20)$$

dengan :

$V'_1$  = tegangan induksi pada kawat fasa dengan kawat tanah, kV

$V_i$  = tegangan induksi pada kawat fasa tanpa kawat tanah, kV

$Z_{22}$  = impedans surja sendiri kawat tanah 2, Ohm

$Z_{12}$  = impedans surja bersama antara kawat tanah 2 dengan kawat fasa 1, ohm

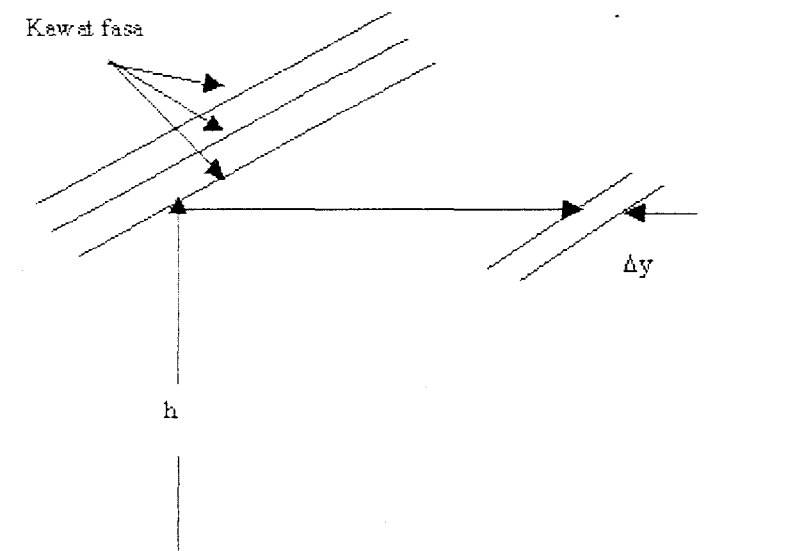
$h_1$  = tinggi kawat fasa 1 di atas tanah, meter

$h_2$  = tinggi kawat tanah 2 diatas tanah, meter

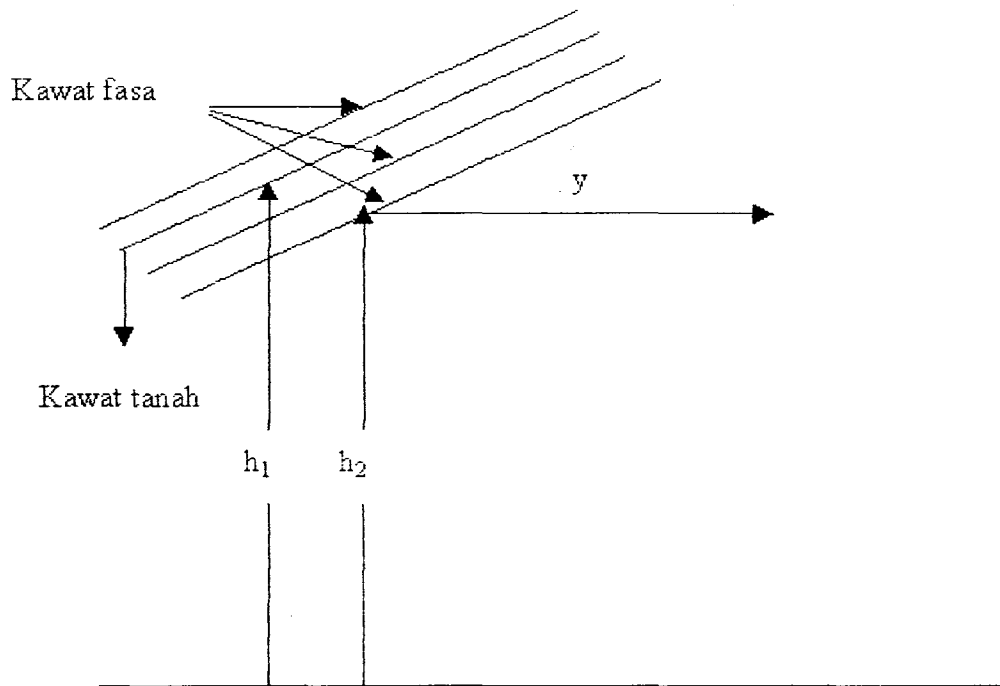
$R$  = tahanan kontak tiang. ohm

Jumlah sambaran pada daerah  $\Delta y$  untuk panjang 100 km saluran,

$$\Delta N = 0,015 \text{ IKL } \Delta y \dots \dots \dots (2.21)$$



Gambar 2.13 Saluran Tegangan Menengah Tanpa Kawat Tanah



Gambar 2.14 Saluran Tegangan Menengah dengan Satu Kawat Tanah

Besar induksi pada kawat

$$V_i = \frac{30I_c h}{y}$$

Supaya tegangan induksi sama atau melebihi ketahanan impuls isolasi  $V_{50\%}$

$$I_c \geq \frac{V_{50\%}}{30h} y \dots\dots\dots (2.22)$$

Probabilitas arus yang demikian di peroleh dari persamaan

$$P_{I_c} = e^{-\frac{I_c}{34}}$$

atau

$$P_{I_c} = e^{-\left(\frac{V_{50\%} y}{1020 h}\right)} \dots\dots\dots (2.23)$$

Jadi jumlah sambaran petir pada bidang  $\Delta y$  yang dapat menimbulkan tegangan melebihi  $V_{50\%}$  adalah

$$\Delta N_{FL} = 0,015IKLe^{-\left(\frac{V_{50\%}}{1020} \cdot \frac{y}{h}\right)} \Delta y \dots\dots\dots (2.24)$$

Bila  $\Delta y$  di buat kecil sekali,  $\Delta y$  berubah menjadi  $dy$  dan  $\Delta N_{FL}$  berubah menjadi  $dN_{FL}$ , dan setelah dilakukan integrasi dari  $y_{min}$  ( $=2h^{1,09}$ ) sampai  $y_{maks}$  ( $=$  tak hingga) untuk kedua sisi saluran diperoleh

$$\begin{aligned} N_{FL} &= 2 \int_{2h^{1,09}}^{\infty} 0,015IKL e^{-\left(\frac{V_{50\%}}{1020h} y\right)} dy \\ &= 0,03IKL \left( -\frac{1020h}{V_{50\%}} \right) \left\{ e^{-\left(\frac{V_{50\%}}{1020h} \infty\right)} e^{-\left(\frac{V_{50\%}}{1020h} 2h^{1,09}\right)} \right\} \end{aligned}$$

atau

$$N_{FL} = 30,6IKLh \frac{e^{-\left(\frac{V_{50\%}}{510} h^{0,09}\right)}}{V_{50\%}} \dots\dots\dots (2.25)$$

Bila ada kawat tanah atau netral maka

$$\begin{aligned} V_i &= FP V_i \\ &= FPX \frac{30I_0 h}{y} \end{aligned}$$

maka

$$N_{FL} = 30,6.IKL.FP.h \frac{e^{-\left(\frac{V_{50\%}}{510FP} h^{0,09}\right)}}{V_{50\%}} \dots\dots\dots (2.26)$$

Tidak semua lompatan api menjadi busur api atau gangguan, dan besarnya tergantung dari besar probabilitas  $\eta$ . Dengan demikian jumlah gangguan akibat sambaran induksi adalah (Hutahuruk, 1989) :

Tanpa kawat tanah

$$N_i = 30,6 \cdot \text{IKL} \cdot h \frac{e^{-\left(\frac{V_{50\%}}{510} h^{0,69}\right)}}{V_{50\%}} \cdot \eta \dots\dots\dots (2.27)$$

Dengan kawat tanah

$$N_i = 30,6 \cdot \text{IKL} \cdot \text{FP} \cdot h \frac{e^{-\left(\frac{V_{50\%}}{510 \cdot \text{FP}} h^{0,69}\right)}}{V_{50\%}} \cdot \eta \dots\dots\dots (2.28)$$

## 2.10 HIPOTESIS

Tinggi tiang berpengaruh pada sambaran petir induksi, semakin tinggi tiang maka jarak sambaran petir induksi dari tiang juga semakin jauh, jumlah gangguan semakin berkurang.

Pertambahan tinggi tiang berpengaruh pada faktor perisaian, semakin tinggi tiang maka faktor perisaian akan semakin kecil. Semakin kecilnya faktor perisaian menunjukkan bahwa perlindungan terhadap sambaran petir induksi semakin baik. Konfigurasi tiang dengan kawat tanah memiliki faktor perisaian yang lebih kecil dibandingkan konfigurasi tiang dengan kawat netral, karena kawat tanah berada diatas saluran sehingga perlindungannya lebih efektif.

## **BAB II**

### **LANDASAN TEORI**

#### **2.1 GEJALA PETIR**

Sambaran petir ke bumi adalah akibat adanya awan yang muatannya berlawanan dengan bumi. Muatan di awan akibat akumulasi dari muatan yang terbawa ke atas dari bumi oleh partikel medan listrik.

Awan kadang-kadang bermuatan positif dan kadang-kadang bermuatan negatif, tapi biasanya bermuatan negatif. Awan dan permukaan bumi adalah dua permukaan kapasitor yang sangat besar, sedangkan saluran transmisi dan benda-benda lain yang ada terpengaruh oleh medan listrik dari kapasitor ini.

##### **2.1.1 Pembentukan Awan Bermuatan**

Di dalam atmosfer bumi terdapat ion positif dan ion negatif yang terdistribusi secara acak. Beberapa ion saling mengikat, dan beberapa ion bergabung membentuk ion besar. Jumlah ion besar di permukaan bumi sekitar 1000 sampai 80.000 butir persentimeter kubik.

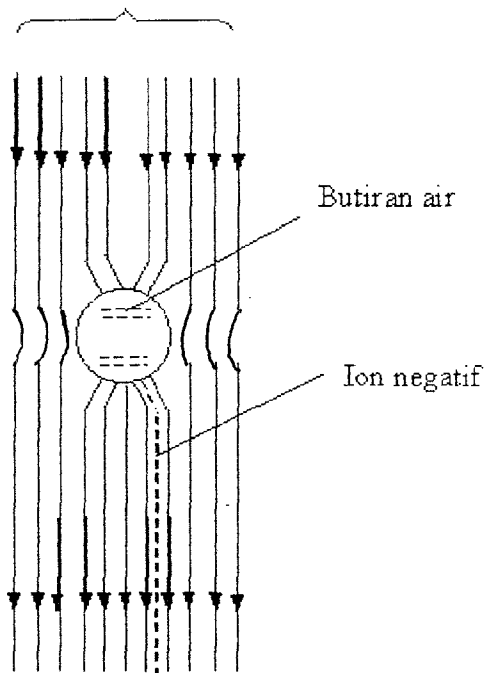
Di permukaan bumi terdapat medan listrik yang mempunyai arah tegak lurus ke bawah. Besar medan listrik dipermukaan bumi adalah  $1 \text{ volt/cm}^2$ , semakin tinggi dari permukaan bumi besar intensitas medan listrik semakin berkurang, pada ketinggian 30.000 kaki diatas permukaan tanah besarnya  $0,02 \text{ volt/cm}^2$ . Pada medan listrik tersebut, sebuah butiran air yang relatif besar akan terpolarisasi karena induksi sehingga bagian atas butiran air bermuatan negatif dan bagian bawah bermuatan

positif. Butiran air tersebut karena pengaruh gravitasi bumi akan jatuh ke bawah dengan kecepatan sekitar 590 cm/detik.

Permukaan bagian bawah butiran air ada kecenderungan terjadi penarikan ion-ion negatif dari sekitar dan penolakan ion-ion positif. Pada bagian atas butiran air tidak terjadi hal yang demikian.

Akibat peristiwa ini, pada butiran air terkumpul muatan negatif. Karena ion kehilangan muatan negatif maka ion tersebut bermuatan positif. Muatan listrik terdistribusi secara acak pada dasarnya bersifat netral. Butiran air membawa muatan negatif ke bagian bawah awan, sedangkan butiran air kecil bermuatan positif berada pada awan bagian atas kemudian bagian tengah awan bersifat netral.

Garis-garis medan listrik



Gambar 2.1 Penarikan Ion Negatif oleh Butiran Air

Gradien listrik dalam daerah antara awan dan tanah sekitar 1.000.000 volt per seribu kaki. Maka pada ketinggian 10.000 kaki potensial awan pada pusatnya sekitar 10.000.000 volt. Kerapatan medan dekat daerah distribusi muatannya tinggi dengan potensial awan sekitar 20.000.000 volt. (Wagner dan McCann, 1950)

### 2.1.2 Mekanisme Sambaran Petir

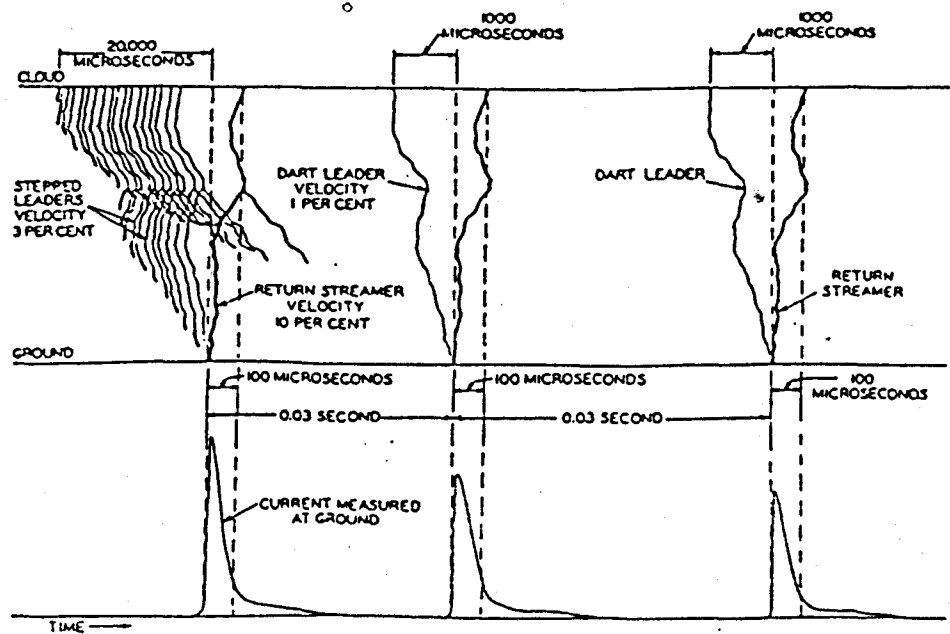
Konsentrasi muatan listrik dalam awan terbatas besarnya, tergantung kemampuan awan. Dibandingkan dengan dimensi awan maka permukaan bumi dapat dianggap suatu elektroda yang amat luas. Sebelum terjadi pelepasan muatan listrik, gradien listrik di awan harus lebih besar daripada gradien listrik dipermukaan bumi yang besarnya tidak melebihi 100 Volt/cm<sup>2</sup>. Oleh karena itu pelepasan muatan cenderung dimulai dari awan daripada dari permukaan bumi. Tekanan yang rendah dan tidak adanya butiran air yang jatuh menurunkan tegangan tembus.

Pelepasan muatan yang biasanya terlihat sebagai suatu kilat sesungguhnya terdiri dari sejumlah sambaran terpisah yang bergerak kebawah melalui alur yang sama. Selang waktu antara komponen-komponen ini bervariasi antara 0,0005 sampai 0,5 detik. Setiap sambaran yang berawal dari ujung petir bergerak turun dari awan. Ujung petir pada komponen pertama sambaran petir didahului oleh suatu alur pandu (*Pilot Streamer*) yang menentukan arah perambatan, merambat dalam udara yang terionisasi rendah. Arus pandu ini kecil, cahayanya juga lemah dengan kecepatan rambatnya sekitar 0,05% dari kecepatan cahaya.

Sambaran petir yang bergerak turun mempunyai suatu alur yang besarnya sekitar 1 sampai 3 milimeter dan diselubungi oleh korona dengan bentuk pada bagian

ujungnya berupa setengah lingkaran dan kemudian meruncing pada pangkalnya, dengan diameter sebesar 5 – 10 meter.

Ketika alur pandu ini timbul, diikuti titik cahaya yang melompat-lompat, dan disebut dengan ujung lompat (*Stepped Leader*). Kecepatan lompatannya sekitar 0,6 kecepatan cahaya dan panjang lompatannya sekitar 50 meter. Arah lompatannya selalu berubah-ubah, sehingga arahnya tidak lurus, semua tergantung keadaan ionisasi udara pada ujung pelepasan (Wagner dan McCann, 1950).



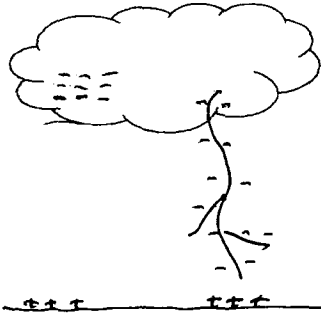
Gambar 2.2 Mekanisme Sambaran Petir



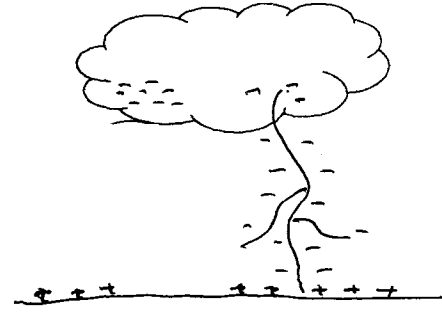
Ujung sambaran petir dari awan ke bumi timbul cahaya yang terang, karena ada sambaran balik dari bumi ke awan kemudian menyebar ke atas melalui alur yang sama. Sambaran balik disebabkan hubungan pendek antara muatan negatif yang berada pada sambaran petir berasal dari awan dengan muatan listrik positif tetap yang berapa di permukaan tanah.

Sambaran ini mempunyai kecepatan sekitar 10% dari kecepatan cahaya dan arus sambaran bervariasi antara 1000 sampai 200.000 Amper. Pertemuan antara dua muatan tersebut berada pada ketinggian 60 sampai 100 meter di atas permukaan tanah. Dengan terbentuknya alur berdaya hantar tinggi diantara pusat muatan awan dengan bumi (alur sambaran balik) maka potensial pusat muatan di awan turun dengan cepat, sehingga timbul beda potensial yang tinggi antara pusat muatan tersebut dengan pusat muatan lain di awan yang sama. Hal ini mengakibatkan dalam awan terbentuk ujung petir pada pusat muatan, ke dua ujung kemudian menjalar ke pusat muatan pertama. Pada pertemuan kedua ujung petir tersebut terbentuk suatu alur berdaya hantar relatif rendah dari pusat muatan yang baru ke bumi. Kemudian pusat muatan kedua dari awan terjadi pelepasan muatan yang berlangsung melalui alur sambaran petir yang pertama (Wagner dan McCann, 1950).

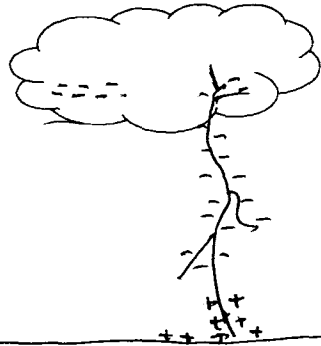
Gambar berikut menunjukkan distribusi muatan dari berbagai tingkatan sambaran petir.



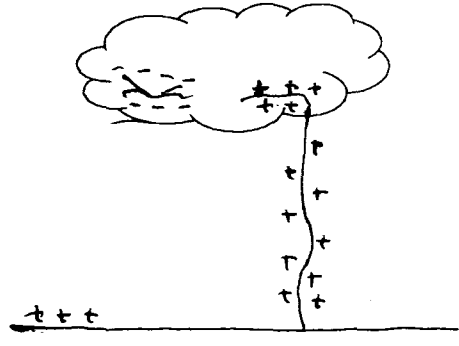
(a) Aliran pemandu pada lidah mula dari salah satu pusat muatan



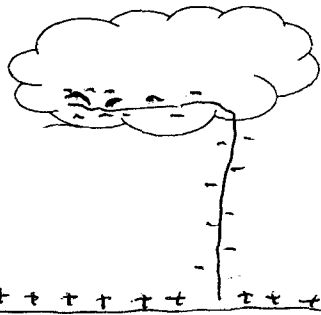
(b) Proses (a) hampir selesai, aliran pemandu hampir mencapai tanah



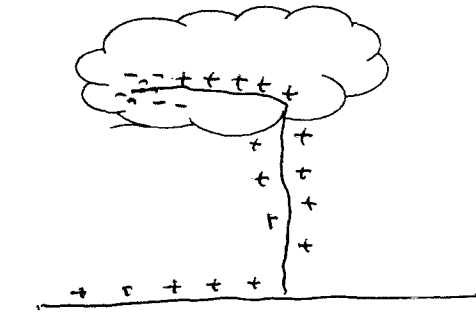
(c) Sambaran balik dari tanah muatan, dilepas ke tanah



(d) Pelepasan muatan pada pusat muatan pertama sudah selesai terjadi aliran muatan diantara pusat-pusat muatan



(e) Terjadi tembus antara pusat muatan pertama dengan kedua lidah panah bergerak ke tanah melalui lintasan yang sama.



(f) Terjadi sambaran balik melepaskan muatan pada pusat muatan kedua ke tanah.

Gambar 2.3 Tahapan Sambaran Petir ke Tanah

## 2.2 PARAMETER SAMBARAN PETIR

### 2.2.1 Arus Puncak

Keaktifan petir dalam mengumpulkan muatan berbeda-beda besarnya, hal itu tergantung pada besarnya muatan yang terkandung dalam gumpalan awan, sehingga petir yang terjadipun tidak sama besarnya. Dari beberapa penelitian ternyata arus petir antara 20 kA sampai 100 kA, begitu pula pada frekuensi sering terjadi juga berlainan tergantung pada kondisi alam dan peralatan.

Tabel 2.1

#### Hubungan Antara Arus Puncak Petir dan Kemungkinan Terjadi

Besar Arus Sambaran Petir (kA)	Seringnya Terjadi ( % )
20	36
40	34
60	20
80	8
$\geq 100$	2

Sumber : Hutahuruk (1989)

### 2.2.2 Waktu Muka Arus Petir

Waktu muka arus petir merupakan parameter yang sama pentingnya untuk menghitung tegangan lebih akibat sambaran petir pada saluran transmisi. Dari beberapa analisis penelitian ternyata semakin kecil waktu muka gelombang, maka semakin cepat harga puncak gelombang dicapai. Gelombang dengan waktu muka yang pendek inilah yang berbahaya bagi peralatan, karena dengan waktu muka gelombang yang pendek, kecuraman muka gelombang akan sangat tajam sehingga dapat menyebabkan tekanan pada isolasi peralatan.

Tabel 2.2

**Hubungan Antara Waktu Untuk Mencapai Puncak  
dan Kemungkinan Terjadi**

Waktu Muka Mencapai Puncak ( $\mu$ /dt)	Seringnya Terjadi (%)
0,5	7
1,0	23
1,5	22
2,0	18
2,5	30

Sumber : Hutahuruk (1989)

## 2.3 FAKTOR PENYEBAB GANGGUAN PETIR PADA SALURAN UDARA TEGANGAN MENENGAH

### 2.3.1 Faktor Gangguan Petir yang Bersifat Alamiah

#### 2.3.1.1 Kerapatan Sambaran Petir

Intensitas petir suatu daerah biasanya dinyatakan dengan hari guruh atau *Iso Keraunic Level* (IKL) daerah tersebut, yaitu jumlah hari rata-rata dimana guruh terdengar setiap tahunnya. Jumlah sambaran petir ke tanah dinyatakan dalam kerapatan sambaran ke tanah, yaitu jumlah sambaran petir ketanah per satuan luas per tahun. Hubungan antara kerapatan sambaran dengan hari guruh berdasarkan penelitian beberapa ahli di berbagai tempat dapat dilihat pada tabel 2.3.

Tabel 2.3

**Relasi Empiris Antara Kerapatan Sambaran Petir dan Hari Guruh Pertahun**

No	Lokasi	Kerapatan Sambaran Petir N	Penyelidik
1	India	0,10 IKL	Aiya (1968)
2	Rhodesia	0,14 IKL	Anderson dan Jenner (1954)
3	Afrika Selatan	0,023 (IKL) <sup>1,3</sup>	Anderson – Eriksson (1954)
4	Swedia	0,004(IKL) <sup>2</sup>	Muller – Hillebrand (1964)
5	Inggris	a (IKL) <sup>b</sup> a = 2,6 ± 0,2 x 10 <sup>3</sup> b = 1,9 ± 0,1	Stringfellow (1974)
6	USA (Bagian Utara)	0,11 IKL	Horn dan Ramsay (1951)
7	USA (bagian Selatan)	0,17IKL	Horn dan Ramsay (1951)
8	USA	0,1IKL	Anderson (1968)
9	USA	0,15IKL	Brown dan Whitehead (1969)
10	Rusia	0,036IKL	Kolokolov dan Pavlova (1972)
11	Dunia (Iklim Sedang)	0,19IKL	Brooks (1950)
12	Dunia (Iklim Sedang)	0,15IKL	Geide (1966)
13	Dunia (Iklim Tropis)	0,13IKL	Brooks (1950)

Sumber : Hutahuruk (1989)

Menurut Hutahuruk (1989), Jumlah sambaran kilat ke bumi adalah sebanding dengan jumlah hari guruh pertahun atau *Iso Keraunic Level* (IKL) di tempat itu. Banyak para penyelidik yang telah memberikan perhatian ke arah ini dan mengemukakan rumus-rumus yang berlainan. Rumus-rumus tersebut diberikan dalam tabel 2.3.

Untuk Indonesia Hutahuruk mengusulkan

$$N = 0,15 \text{ IKL} \dots \dots \dots (2.1)$$

Jumlah sambaran petir ke tanah kurang lebih 25% dari seluruh pelepasan muatan yang terjadi di alam (awan-awan, muatan di dalam awan-awan, awan tanah). Semakin besar kerapatan sambaran petir pada suatu daerah, maka kegagalan perlindungan dari saluran transmisi atau peralatan akan semakin besar.

### 2.3.1.2 Faktor Keadaan Tanah

Keadaan tanah mempengaruhi tahanan terhadap tanah itu sendiri, sehingga saat perencanaan pentanahan tiang atau menara perlu diperhatikan faktor keadaan tanah. Tahanan kaki menara atau tiang perlu dibuat sekecil mungkin (di Amerika kurang dari 10 Ohm) untuk menghindari lompatan api karena naik potensial menara atau tiang waktu terjadi sambaran petir. Tahanan ini ditentukan oleh bentuk fisik tahanan dan tahanan jenis tanah (Hutahuruk, 1989).

Tabel 2.4.

**Nilai Tahanan Spesifik Berbagai Jenis Tanah**

Jenis Tanah	Tahanan Jenis Tanah (Ohm/cm)
Sawah, rawa (tanah garapan)	0 – 15.000
Tanah garapan (Tanah Liat)	1.000 – 20.000
Sawah Garapan (berkerikil)	10.000 – 100.000
Pegunungan Berbatu	20.000 – 200.000
Pinggir Sungai Berbatu	200.000 – 500.000

Sumber : Hutahuruk (1989)

### 2.3.1.3 Ketinggian Saluran

Ketinggian tempat saluran udara tegangan menengah berada, mempengaruhi sambaran petir yang mengenai saluran tersebut. Semakin tinggi tempat saluran udara

tegangan menengah semakin besar pula kemungkinan terkena sambaran, dengan demikian pada saat membuat atau merencanakan saluran udara tegangan menengah harus memperhatikan atau disesuaikan dengan kondisi setempat, misalnya jarak bebas terhadap bangunan yang ada disekitarnya.

## **2.3.2 Faktor Gangguan yang Bersifat Teknis**

### **2.3.2.1 Tahanan Kaki Menara**

Ketika petir menyambar menara atau kawat tanah, maka arus sambaran petir akan mengalir ke tanah melalui menara karena adanya perbedaan impedans pada dasar menara, gelombang ini akan dipantulkan kembali ke puncak menara secara berulang-ulang. Besarnya tahanan kaki menara akan menentukan besarnya gelombang pantul dari dasar menara, bila tahanan kaki menara semakin kecil maka gelombang pantul semakin besar dan negatif, sedangkan yang ditahan isolator akan semakin berkurang. (Hutahuruk, 1989)

### **2.3.2.2 Sudut Perisaian**

Sudut perisaian yaitu sudut yang dibentuk oleh garis vertikal dari kawat tanah atau kawat fasa teratas.

Jenis-jenis sudut perisaian adalah sebagai berikut :

1. Untuk sudut perisaian  $0 \leq 18^\circ$  perisaian pada saluran udara baik.
2. Untuk sudut perisaian  $0 \leq 30^\circ$  perisaian pada saluran udara kurang baik.
3. Untuk sudut perisaian  $0 \leq 40^\circ$  perisaian pada saluran udara buruk

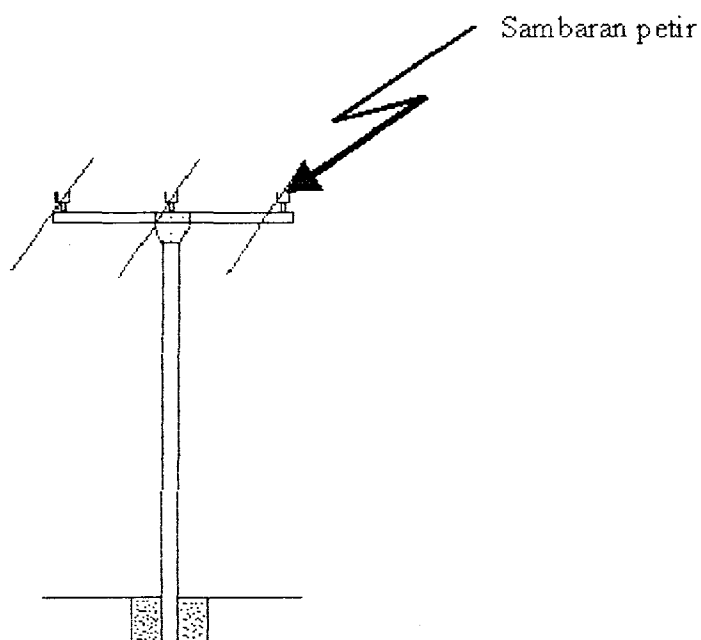
Besarnya sudut perisaian akan mempengaruhi penampilan saluran udara akan tetapi walaupun sudut proteksinya cukup memadai tidak menutup kemungkinan terjadinya kegagalan perisaian (Hutahuruk, 1989).

## 2.4 CARA MASUKNYA PETIR

### 2.4.1 Sambaran Petir Langsung

Sambaran petir langsung adalah apabila petir menyambar langsung pada kawat fasa (untuk saluran tanpa kawat tanah) atau pada kawat tanah (untuk saluran dengan kawat tanah).

Pada waktu petir menyambar kawat tanah atau kawat fasa timbul arus besar dan sepasang gelombang berjalan yang merambat pada kawat. Arus yang besar ini dapat membahayakan peralatan-peralatan yang ada pada saluran. Besarnya arus atau tegangan akibat sambaran ini tergantung pada besar arus kilat, waktu muka dan jenis tiang saluran. Saluran tegangan menengah tidak begitu tinggi diatas tanah, maka jumlah sambaran langsung relatif rendah (Hutahuruk, 1989)



Gambar 2.4 Sambaran petir langsung