

## BAB II

### KAJIAN TEORITIK DAN KERANGKA BERPIKIR

#### 2.1. Kajian Teoritik

##### 2.1.1. Petir

###### 2.1.1.1. Pengertian petir

Petir adalah sebuah cahaya yang terang benderang yang dihasilkan oleh tenaga listrik alam yang terjadi diantara awan - awan atau awan ketanah. Sering terjadi bila cuaca mendung atau badai. Petir merupakan peristiwa alam yaitu proses pelepasan muatan listrik (*electrical discharge*) yang terjadi di atmosfer. Peristiwa pelepasan muatan ini akan terjadi karena terbentuknya konsentrasi muatan–muatan positif dan negatif didalam awan ataupun perbedaan muatan dengan permukaan bumi.



**Gambar 2.1** Petir<sup>1</sup>

Ketinggian antara permukaan atas dan permukaan bumi pada awan dapat mencapai jarak sekitar 8 km dengan temperature bagian bawah sekitar 13°C dan

---

<sup>1</sup> [http://upload.wikimedia.org/wikipedia/id/5/5b/Tamworth\\_Lightning\\_FearTec.jpg](http://upload.wikimedia.org/wikipedia/id/5/5b/Tamworth_Lightning_FearTec.jpg) (4 Oktober 2014 Pukul 23.00 WIB)

temperatur bagian atas sekitar  $-65^{\circ}\text{C}$ . Akibatnya, didalam awan tersebut akan terjadi kristal-kristal es. Karena didalam awan terdapat angin ke segala arah, maka kristal-kristal es tersebut akan saling bertumbukan dan bergesekan sehingga terpisahkan antara muatan positif dan muatan negatif. Pemisahan muatan inilah yang menjadi sebab utama terjadinya sambaran petir.

Pelepasan muatan listrik dapat terjadi didalam awan, antara awan dengan awan dan antara awan dengan bumi tergantung dari kemampuan udara dalam menahan beda potensial yang terjadi. Panjang kanal petir bisa mencapai beberapa kilometer, dengan rata-rata 5 km. Kecepatan pelopor menurun dari awan bisa mencapai 3% dari kecepatan cahaya. Sedangkan kecepatan pelepasan muatan balik mencapai 10% dari kecepatan cahaya. Dimana besar kecepatan cahaya ( $c$ ) adalah  $3 \times 10^8 \text{ km/s}$ .<sup>2</sup>

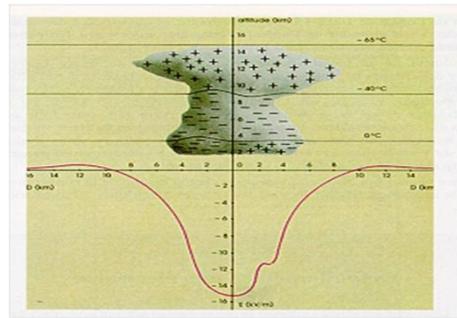
#### **2.1.1.2. Proses terjadinya petir**

##### **2.1.1.2.1. Pembentukan Awan Bermuatan**

Terjadinya petir merupakan hasil dari proses pada atmosfer sehingga muatan terkumpul pada awan. Terjadinya awan merupakan konsekuensi dari ketidakstabilan atmosfer bumi. Energi sinar matahari menumbuk partikel udara dan akan memanaskan lapisan udara bagian bawah yang akan menyebabkan berkurangnya kerapatan dan atmosfer menjadi tidak stabil untuk gerakan keatas. Hal ini disebabkan tekanan atmosfer berkurang sebanding dengan ketinggian yang akan mengakibatkan udara yang memuai akan bergerak keatas.

---

<sup>2</sup> Asep Dadan Hermawan, Optimalisasi Sistem Penangkal Petir Eksternal Menggunakan Jenis Early Streamer (Studi Kasus UPT LAGG BPPT), (Depok: Universitas Indonesia:2010), hal. 6



**Gambar 2.2** Pembentukan awan petir

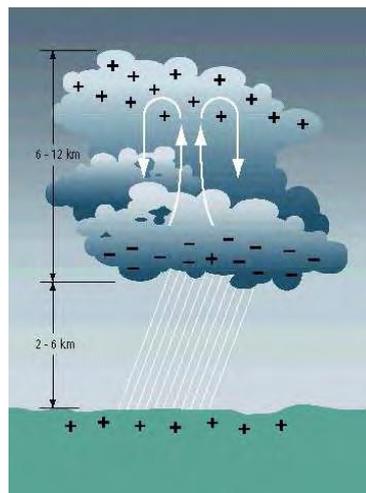
Gerakan lapisan udara keatas akan menurunkan temperatur lapisan udara sehingga pada ketinggian dan temperatur tertentu akan terbentuk uap air dan terbentuk titik-titik air yang terkumpul membentuk awan. Dalam keadaan normal pada atmosfer bumi terdapat sejumlah ion-ion positif dan negatif yang tersebar acak. Ion-ion ini terjadi karena tumbukan atom, pancaran sinar kosmis dan energi *thermis*. Pada keadaan cuaca cerah diudara terdapat medan listrik yang berarah tegak lurus kebawah menuju bumi.

Dengan adanya medan listrik itu, butiran air yang terdapat diudara akan terpolarisasi karena induksi. Bagian atas bermuatan negatif dan bagian bawah bermuatan positif. Dengan demikian butiran air yang terdapat di awan akibat proses kondensasi akan terpolarisasi. Didalam awan adakalanya terjadi pergerakan arus udara keatas membawa butir-butir air yang berat jenisnya rendah dengan kecepatan sekitar 30 sampai 40 m/s.

Karena mengalami pendinginan, butiran air ini akan membeku sehingga berat jenisnya membesar yang mengakibatkan timbulnya gerakan udara kebawah dengan kecepatan cukup tinggi. Dalam pergerakan didalam awan ini, pada permukaan bagian bawah butiran air timbul gaya tarik terhadap ion-ion negatif yang mempunyai mobilitas rendah, sedangkan ion-ion positif ditolak. Akibatnya

pada butiran air ini terkumpul muatan negatif. Butir-butir air yang besar akan membawa muatan negatif berkumpul di awan bagian bawah sedangkan butir-butir air yang lebih kecil yang bermuatan positif berkumpul di awan bagian atas.

Bersamaan terjadinya pengumpulan muatan, pada awan timbul medan listrik yang intensitasnya semakin bertambah besar. Akibatnya gerakan kebawah butir-butir air menjadi terhambat atau terhenti. Dengan terjadinya muatan pada awan bagian bawah, di permukaan bumi terinduksi muatan yang berlawanan dengan muatan pada awan bagian bawah. Akibatnya terbentuk medan listrik antara awan dengan permukaan bumi. Apabila medan listrik ini melebihi kekuatan tembus udara terjadilah pelepasan muatan.<sup>3</sup>



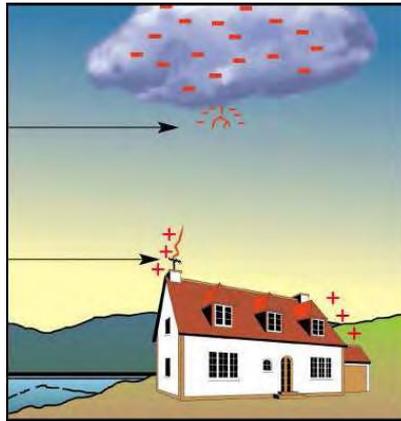
**Gambar 2.3** Pembentukan Badai Petir dan Ionisasi Natural

#### 2.1.1.2.2. *Downward Leader*

Proses ionisasi pada awan petir tersebut akan menghasilkan medan listrik antara awan petir dan bumi. Apabila medan listrik yang dihasilkan mencapai level *breakdown voltage* kira-kira 100 juta volt terhadap bumi, maka akan terjadi

<sup>3</sup> *Ibid*, 7.

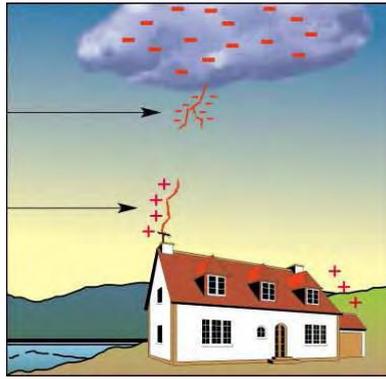
pelepasan elektron dari awan petir ke bumi (*Downward Leader*). Pelepasan muatan elektron ini pada umumnya berupa lidah-lidah petir yang bercahaya yang turun bertahap menuju permukaan bumi dengan kecepatan rambat rata-rata 100-800 km/s. Untuk lebih jelasnya perhatikan gambar dibawah ini.



**Gambar 2.4** *Downward Leader*

#### **2.1.1.2.3. Upward Leader**

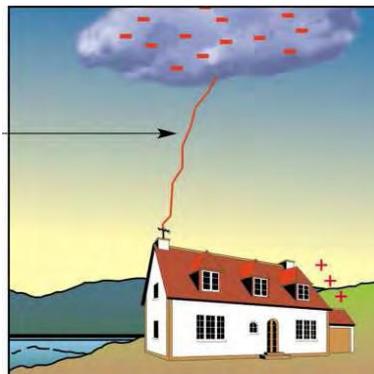
Terbentuknya *Downward Leader* dengan kecepatan yang tinggi ini menyebabkan naiknya medan listrik yang dihasilkan antara ujung lidah petir tersebut dengan permukaan bumi. Sehingga menyebabkan terbentuknya *Upward Leader* yang berasal dari puncak-puncak tertinggi dari permukaan bumi. Proses ini berlanjut hingga keduanya bertemu disuatu titik ketinggian tertentu, yang dikenal dengan *Striking point*. Dengan demikian maka lengkaplah sudah pembentukan kanal ionisasi antara awan petir dan bumi, dimana kanal ionisasi ini merupakan saluran udara yang memiliki konduktivitas yang tinggi bagi arus petir yang sesungguhnya.



**Gambar 2.5** *Upward Leader*

#### 2.1.1.2.4. *Return Stroke*

*Return Stroke* yang diistilahkan dengan sambaran balik merupakan arus petir yang sesungguhnya yang mengalir dari bumi menuju awan petir melalui kanal ionisasi yang sudah terbentuk diatas. Oleh karena kanal udara yang terionisasi ini memiliki konduktivitas yang tinggi, maka kecepatan rambat arus petir ini jauh lebih cepat dibandingkan dengan kecepatan rambat dari *step leader*, yaitu  $\pm 20.000 - 110.000 \text{ km/s}$ .<sup>4</sup>



**Gambar 2.6** *Return Stroke*

---

<sup>4</sup> *Ibid*, 9.

### 2.1.1.3. Macam-macam petir

Telah disebutkan sebelumnya bahwa faktor-faktor yang mempengaruhi pembentukan dan pengumpulan muatan di awan begitu banyak dan tak pasti. Ditambah dengan kondisi labilitas dalam atmosfer, sehingga proses terjadinya sambaran petir bisa juga berbeda-beda.

Misalnya, muatan yang terjadi tidak terpisah secara horizontal sehingga menimbulkan pelepasan diantara awan dengan awan atau dalam awan itu sendiri. Atau mungkin saja proses pemisahan muatannya terjadi secara sebaliknya, sehingga arah peluahan atau petirnya juga terbalik. Secara garis besar, jenis-jenis petir dapat dikategorikan dalam beberapa macam, yaitu sebagai berikut :

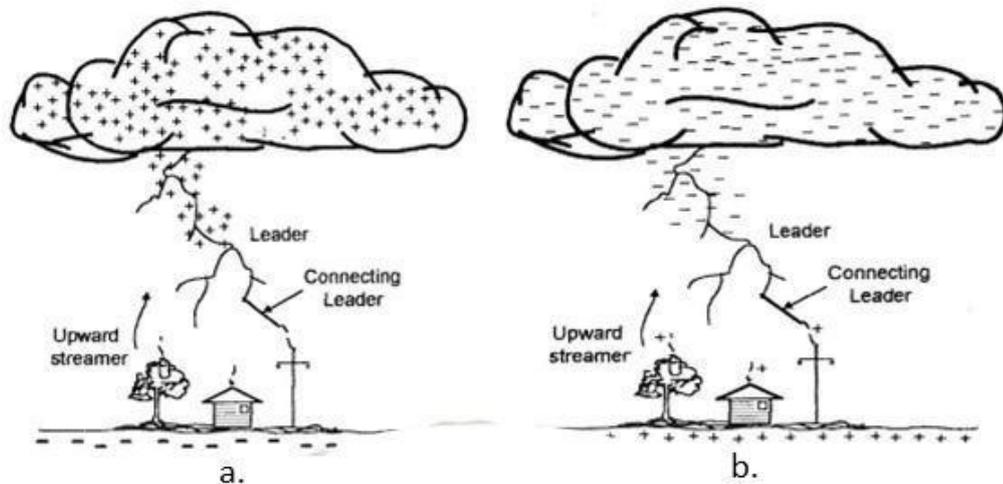
1. Berdasarkan polaritas muatan :
  - a. Muatan positif
  - b. Muatan negatif
2. Berdasarkan arah sambaran :
  - a. Arah kebawah (bumi atau objek), disebut *downward lightning*
  - b. Arah keatas (awan), disebut *upward lightning*
3. Berdasarkan jenis sambaran :
  - a. Sambaran dalam awan (*intra cloud lightning*)
  - b. Sambaran antar awan (*inter cloud lightning*)
  - c. Sambaran awan ke bumi (*cloud to ground lightning*)<sup>5</sup>

---

<sup>5</sup> Soli Akbar Hutagalog: Studi Tentang Sistem Penangkal Petir Pada BTS (Base Transceiver Station), (Aplikasi pada PT.Telkomsel-Banda Aceh), 2010. Hal. 9

### 2.1.1.3.1. Berdasarkan polaritas muatan

Polaritas petir, baik itu positif maupun negatif ditentukan oleh muatannya. Petir dikatakan bermuatan positif jika *pilot leader* yang membentuk *step leader* bermula dari awan bermuatan negatif maka petirnya dikatakan bermuatan negative (Gambar 2.3.b).



**Gambar 2.7** Polaritas muatan petir pada sambaran ke tanah

Polaritas petir tidak selalu berpengaruh menentukan arah perambatan petir. Polaritas petir paling berpengaruh pada daya rusak yang dihasilkannya, dalam hubungannya dengan besaran arus petir dan bentuk gelombangnya. Sebab pada umumnya, besaran arus pada petir dengan polaritas positif lebih besar dibandingkan pada petir polaritas negatif.

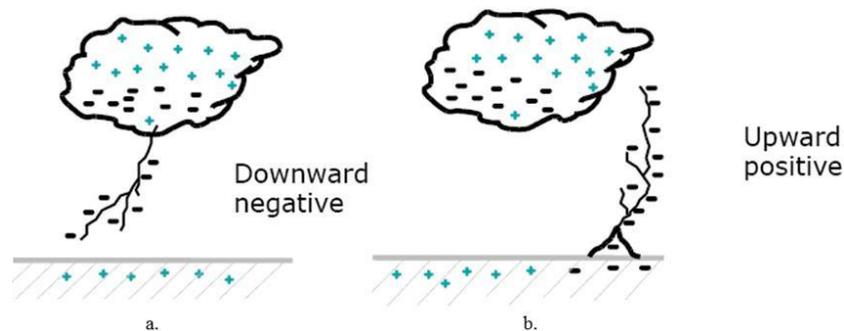
Selain itu, bentuk gelombang arus petir dengan polaritas negatif, berbeda-beda antara sambaran pertama (*first stroke*) dengan sambaran susulannya (*subsequent stroke*). Selain perbedaan dalam hal karakteristik besaran arus dan bentuk gelombangnya, petir polaritas positif dan polaritas negatif juga berbeda dalam persentase kemungkinan kejadiannya. Hanya sekitar 10% dari sambaran petir

yang terjadi berpolaritas positif, selebihnya adalah petir negatif. Probabilitas kejadian petir positif akan meningkat dengan bertambahnya ketinggian suatu tempat atau objek di bumi. Lebih jauh lagi, *R.B. Anderson* menyatakan bahwa mayoritas petir positif “lebih sering atau menyukai *single stroke*”, sehingga untuk tujuan dan penelitian petir positif sering dinyatakan (diasumsikan) sebagai sambaran tunggal.

### 2.1.1.3.2. Berdasarkan arah sambaran

Jika melihat kembali pada mekanisme terjadinya petir, maka akan terlihat bahwa untuk setiap satu kejadian kilat petir dengan beberapa sambaran, mengalami arah peluahan kebawah (bumi) dan keatas (awan) sekaligus secara bergantian. Maka untuk mendefinisikan arah sambaran ini, sebagai acuan adalah arah mula terjadinya peluahan petir (asal *pilot leader*).

Apabila *pilot leader* bermula dari atas (awan), maka disebut petir kebawah atau disebut juga *downward lightning*, dan jika sebaliknya mak disebut keatas atau *upward lightning*.



**Gambar 2.8** Tipikal arah sambaran petir

(a) *Downward lightning*

(b) *Upward lightning*

Perbedaan antara *upward lightning* dengan *downward lightning*, selain dari arah sambarannya adalah pada probabilitas kejadian dan tipikal sambarannya. *Upward lightning* memiliki sambaran yang cabang-cabangnya cenderung sedikit, kebalikan dari *downward lightning* yang percabangan sambarannya cenderung banyak.

Selain itu *upward lightning* sangat jarang terjadi, sehingga kasus ini dianggap sebagai kasus khusus. Dari beberapa referensi yang ada belum ada satupun yang memberikan angka perkiraan mengenai probabilitas kejadian *upward lightning* di dunia. *Upward lightning* hanya terjadi pada objek yang memiliki ketinggian cukup lumayan. Hasil obserbasi menunjukkan bahwa dari peristiwa-peristiwa *upward lightning*, sekitar 80 – 90 % terjadi pada objek dengan ketinggian 400 - 500 m dari permukaan bumi.

#### **2.1.1.3.3. Berdasarkan jenis sambaran**

Kondisi pada saat pemisahan muatan merupakan faktor penentu dari proses kejadian petir berdasarkan jenis sambaran ini. Ada beberapa jenis sambaran petir, yaitu :

##### **1. Sambaran petir ke tanah (*cloud to ground lightning*)**

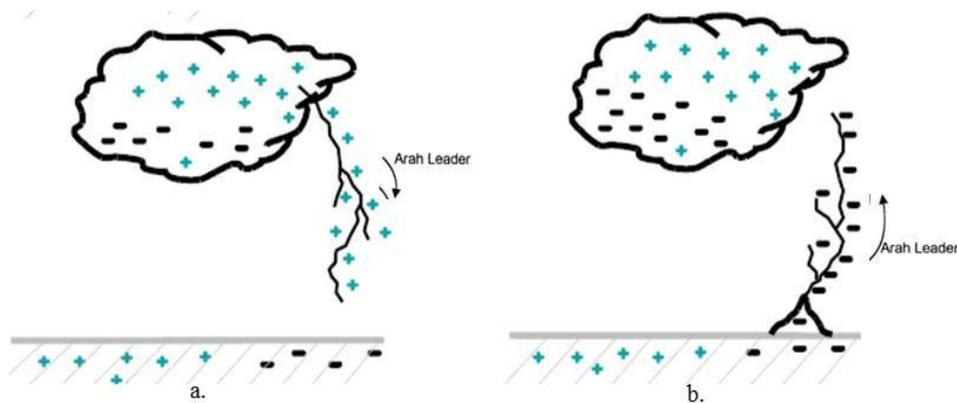
Merupakan bentuk sambaran petir yang paling merusak dan bercahaya. Oleh karena itu, meskipun sambaran petir jenis ini bukan merupakan yang paling umum terjadi, namun paling penting untuk diteliti dan dikaji

karakteristiknya dalam rangka melindungi diri dan lingkungan kita dari sambaran petir ini.

## 2. Sambaran petir dalam awan (*intra cloud lightning*)

Merupakan jenis yang paling sering terjadi. Petir jenis ini terjadi antara muatan yang berlawanan dalam satu awan yang sama. Prosesnya terjadi diawan dan terlihat dari luar awan seperti kejapan cahaya terang yang menyambar. Akan tetapi, kilatan cahayanya juga bisa keluar dari batas-batas awan itu sendiri, dan membentuk kanal cahaya serupa dengan sambaran ke tanah.

Perbandingan antara *cloud to ground* dengan *intra cloud lightning* dapat bervariasi secara signifikan antara satu badai dengan badai yang lainnya. Beberapa anggapan (usulan) menyatakan bahwa variasi ini mempunyai ketergantungan atau korelasi terhadap latitude, dengan persentase kejadian lebih besar untuk kejadian *cloud to ground* pada latitude yang lebih tinggi.



**Gambar 2.9** Tipikal arah sambaran petir

### 3. Sambaran petir antar awan (*inter cloud lightning*)

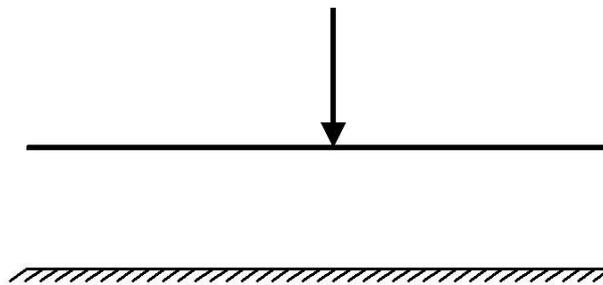
Merupakan sambaran petir yang terjadi diantara pusat muatan yang berlawanan pada dua awan berbeda.<sup>6</sup>

#### 2.1.1.4. Tegangan Lebih Akibat Sambaran Petir

Bila petir menyambar suatu rangkaian, arus akan mengalir pada rangkaian tersebut. Besarnya tegangan yang timbul akan tergantung pada besarnya arus petir dan impedansi dari rangkaian dimana arus tersebut mengalir.

Bahaya tegangan lebih yang dapat terjadi pada *power* sistem (hantaran udara, menara gardu induk) tetapi dalam hal penulisan ini adalah pada badan pesawat terbang dapat berupa:

#### a. Sambaran Langsung (*direct strike*) pada badan pesawat terbang (simulasi pada kawat penghantar)



Sumber Gambar : Jurnal Penangkal Petir Universitas Sumatera Utara (USU)

**Gambar 2.10** Sambaran Langsung Pada Penghantar

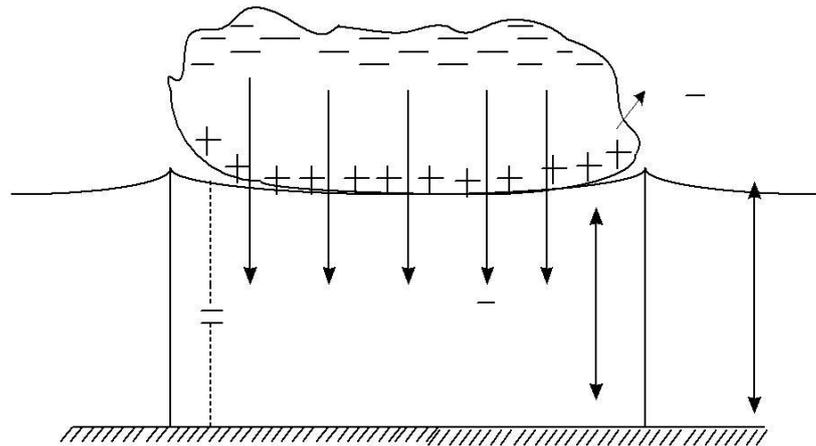
---

<sup>6</sup>*Ibid*, 13.

## b. Sambaran Tidak Langsung Atau Sambaran Induksi

Dapat terjadi karena :

Induksi elektromagnetik (arus) akibat terjadinya pelepasan muatan didekat sistem. Induksi elektrostatik sebagai akibat adanya awan bermuatan diatas hantaran udara.<sup>7</sup>



Sumber Gambar : Jurnal Penangkal Petir Universitas Sumatera Utara (USU)

**Gambar 2.11** Sambaran Tidak Langsung

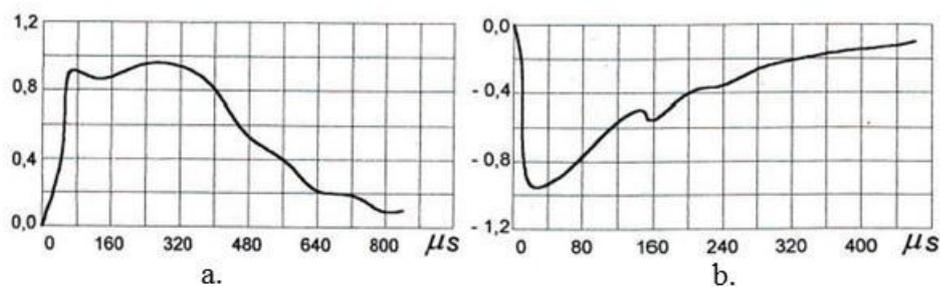
### 2.1.1.5. Parameter – parameter petir

Parameter petir menyatakan karakteristik atau penggambaran petir itu sendiri. Parameter-parameter petir cukup banyak, terutama yang berkaitan dengan usaha-usaha proteksi petir. Selain itu, parameter petir ini juga berguna dalam studi efek perusakan akibat sambaran petir dan kemungkinan pemanfaatannya. Parameter-parameter tersebut antara lain : bentuk gelombang petir, kerapatan sambaran ( $N_g$ ), arus puncak ( $I_{max}$ ), kecuraman gelombang atau *steepness* ( $di/dt$ ).

<sup>7</sup> Jurnal Penangkal Petir Universitas Sumatera Utara (USU)

### 2.1.1.5.1. 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 bisa berbeda cukup lumayan, antara sambaran pertama dengan sambaran susulan. Kejadian terutama pada petir negatif yang sebagian besar selalu ada *subsequent stroke*-nya.

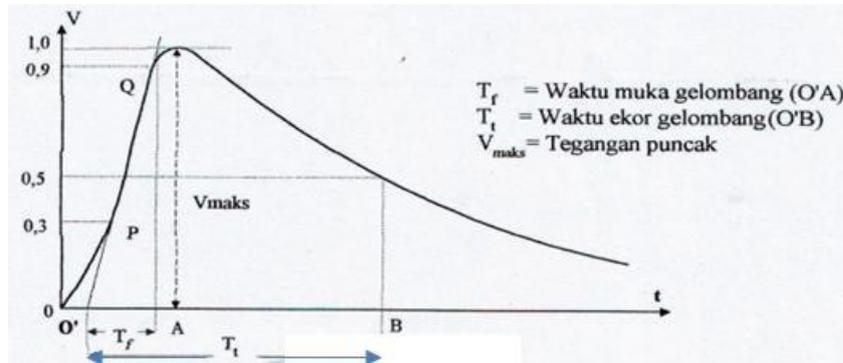


(a) Petir positif

(b) Petir negatif

**Gambar 2.12** Osilogram bentuk gelombang arus petir

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. 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 2.13** Bentuk gelombang impuls petir standar

#### 2.1.1.5.2. Kerapatan sambaran petir ( $N_g$ )

Parameter ini menyatakan banyaknya aktifitas petir atau sambaran petir ke bumi dalam rentang satu tahun disuatu wilayah, dinyatakan dalam sambaran per km<sup>2</sup> per tahun. Jumlah sambaran kilat ini sebanding dengan jumlah hari guruh per tahun atau biasa disebut *Iso Keraunic Level* (IKL). Banyak peneliti yang memberikan perhatian kearah ini dan mengemukakan rumus-rumus yang berlainan. Untuk Indonesia, T.S. Hutauruk memberikan usulan kerapatan sambaran petir adalah sebesar (Sori Akhar H, p. 29) :

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

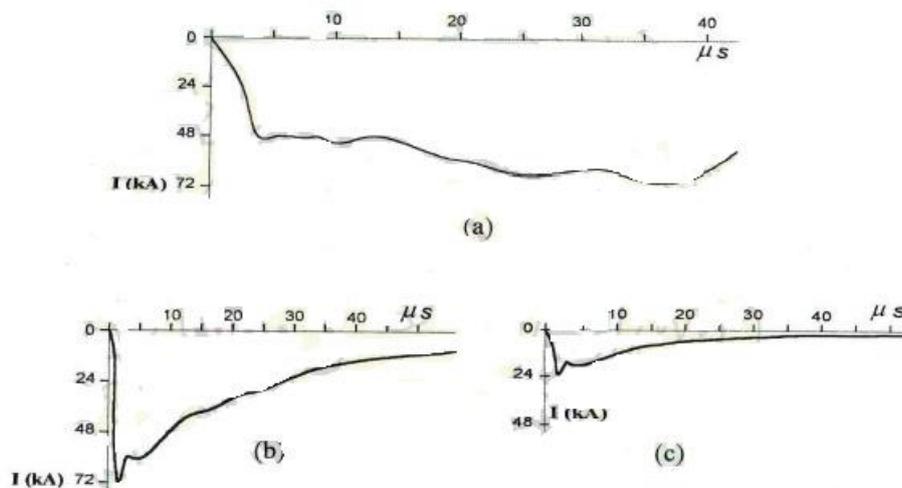
Dimana :

$N_g$  : Kerapatan sambaran petir

$IKL$  : Indeks Iso Keraunic Level (IKL)

### 2.1.1.5.3. Arus puncak ( $I_{max}$ )

Parameter arus puncak ini menentukan jatuh tegangan resistif pada tahanan pentanahan dan tahanan peralatan yang terkena sambaran. Selain itu juga, ikut menentukan kenaikan temperatur pada peralatan yang disambar. Biasanya, nilai arus puncak ini yang digunakan dalam menyatakan suatu gelombang impuls petir, bersama-sama dengan dua besaran gelombang sebelumnya yaitu waktu muka ( $T_f$ ) dan waktu ekor ( $T_t$ ). Di bawah ini merupakan hasil pengukuran bentuk gelombang arus petir sambaran ganda yang terdiri dari sambaran pertama (a), sambaran kedua (b), dan sambaran ketiga (c).



**Gambar 2.14** Hasil pengukuran bentuk gelombang arus petir negatif sambaran ganda

### 2.1.1.5.4. 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 (*front duration*).<sup>8</sup>

#### **2.1.1.6. Efek Sambaran Petir**

Bagian utama kilat petir yang menimbulkan kerusakan adalah sambaran balik. Ini adalah bagian kilat, yang berupa muatan petir yang diluahkan ke bumi atau ke tanah. Besar arus yang mengalir pada sambaran ini adalah berkisar antara 2.000 A sampai 200 kA.

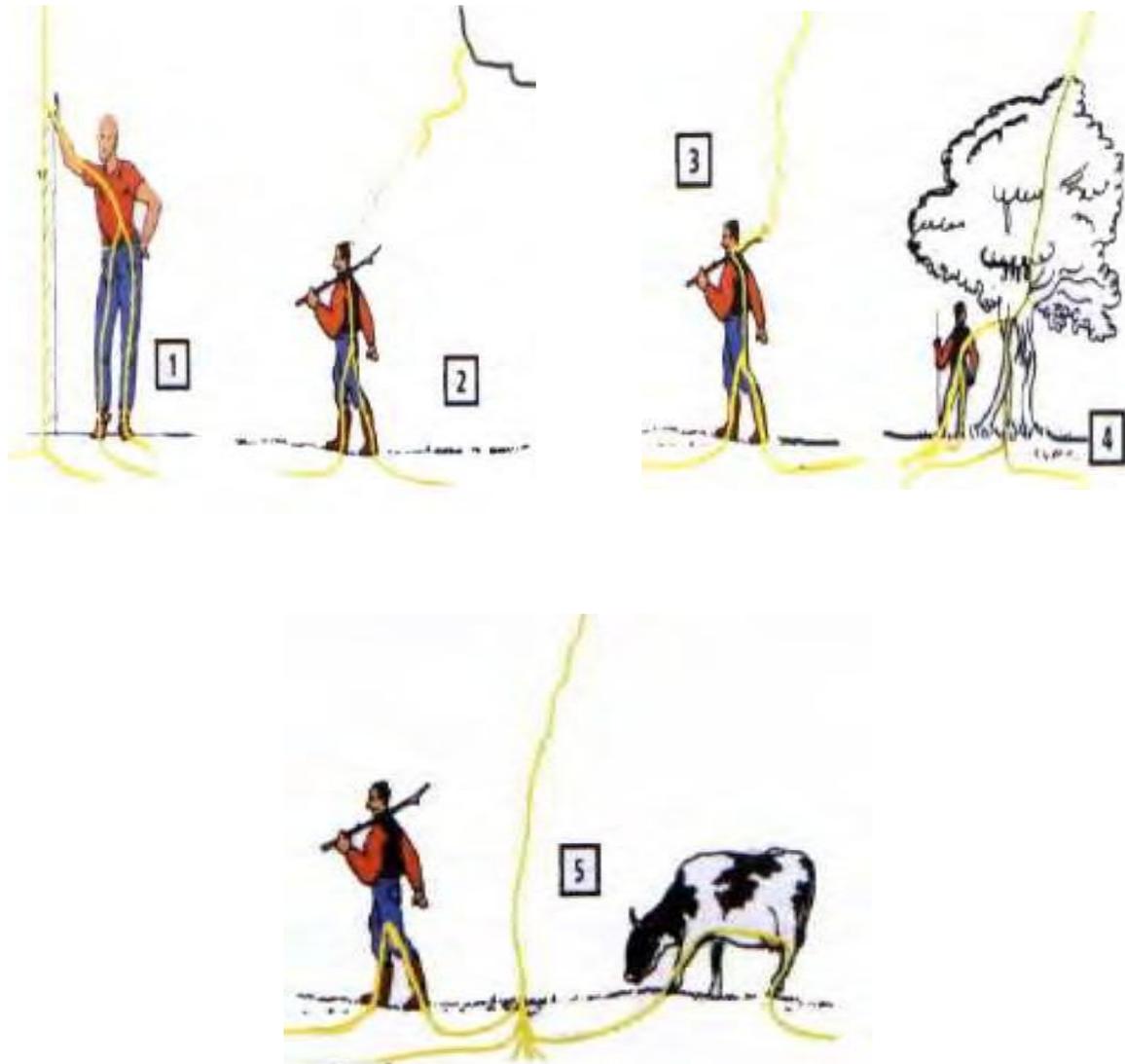
##### **2.1.1.6.1. Terhadap Manusia**

Apabila aliran listrik akibat sambaran petir mengalir melalui tubuh manusia, maka organ-organ tubuh yang dilalui oleh aliran tersebut akan mengalami kejutan (*shock*). Arus tersebut dapat menyebabkan berhentinya kerja jantung. Selain itu, efek rangsangan dan panas akibat arus petir pada organ-organ tubuh dapat juga melumpuhkan jaringan-jaringan/otot-otot bahkan bila energinya besar dapat menghanguskan tubuh manusia.

Perlu diketahui, yang menyebabkan kematian sambaran tidak langsung, karena disekitar titik/tempat yang terkena sambaran akan terdapat muatan listrik dengan kerapatan muatan yang besar dimana muatan itu akan menyebar di dalam tanah dengan arah radial.

---

<sup>8</sup> Jefanya Ginting: Analisa Efek Tegangan Induksi Karena Sambaran Petir pada Area Operasional PT. X, 2012. hal 14



**Gambar 2.15** Efek Sambaran Petir Terhadap Manusia

#### **2.1.1.6.2. Terhadap Bangunan**

Kerusakan tersebut dapat berupa kerusakan thermis, seperti terbakar pada bagian yang tersambar, bisa juga berupa mekanis, seperti atap runtuh, bangunan retak dan lain-lain. Bahan bangunan yang paling parah bila terkena sambaran petir adalah yang bersifat kering.

### 2.1.1.6.3. Terhadap Jaringan dan Instalasi Listrik

Gangguan jenis ini dikelompokkan menjadi 2 bagian yaitu sambaran petir mengenai kawat tanah dan sambaran petir mengenai kawat fasa. Sambaran petir langsung mengenai kawat tanah dapat mengakibatkan terputusnya kawat tanah, naiknya potensial kawat tanah yang diikuti oleh *back flash over* ke kawat fasa, dan naiknya potensial pentanahan menara transmisi yang menyebabkan bahaya tegangan langkah.



**Gambar 2.16** Sambaran petir mengenai tangki bahan bakar

### 2.1.1.6.4. Terhadap Peralatan Elektronik dan Listrik

Sambaran petir pada suatu struktur bangunan maupun saluran transmisi mengakibatkan kerusakan peralatan elektronik, control, computer, telekomunikasi dan lainnya yang disebabkan oleh sambaran petir langsung dan sambaran petir tidak langsung.

### 2.1.1.6.5. Kerusakan Akibat Sambaran Langsung

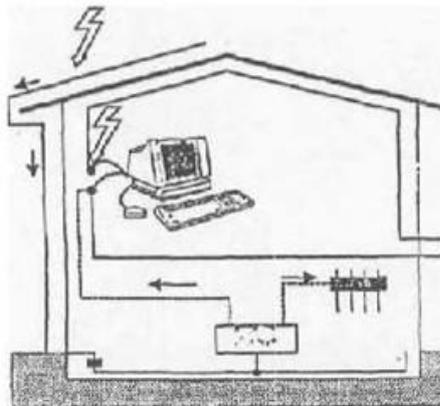
Kerusakan terjadi karena sambaran petir mengenai suatu struktur bangunan dan isinya sehingga mengakibatkan kebakaran gedung, keretakan dinding, kerusakan peralatan elektronik, kontrol, jaringan data dan sebagainya.

### 2.1.1.6.6. Kerusakan Akibat Sambaran Tidak Langsung

Kerusakan jenis ini terjadi karena petir menyambar suatu titik lokasi misalnya suatu menara transmisi atau telekomunikasi kemudian terjadi hantaran secara induksi melalui kabel aliran listrik, kabel telekomunikasi atau peralatan yang bersifat konduktif sampai jarak tertentu yang tanpa disadari telah merusak peralatan elektronik yang jaraknya jauh dari lokasi sambaran semula. Mekanisme induksi karena secara tidak langsung sambaran petir menyebabkan kenaikan potensial pada peralatan elektronika dijelaskan sebagai berikut :

#### a. Kopling Resistif

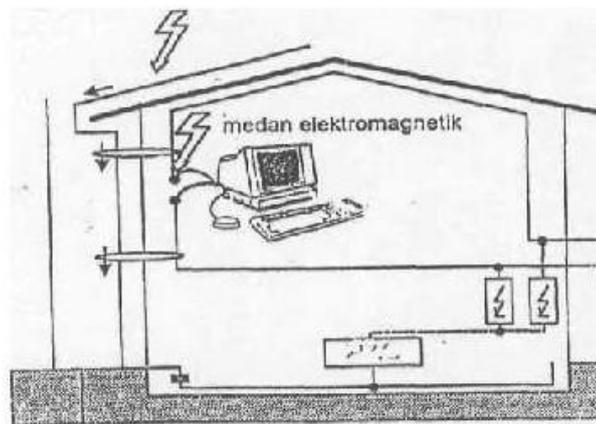
Ketika permukaan bangunan terkena sambaran petir, arus yang mengalir ke dalam tanah membangkitkan tegangan yang bias mencapai ribuan volt diantara tegangan suplai 220V, jaringan data dan pentanahan. Hal ini menyebabkan sebagian arus mengalir pada bagian penghantar luar misalnya kabel yang terhubung dengan bangunan dan terus menuju ke pembumian.



**Gambar 2.17** Kopling Resistif

### b. Kopling Induktif

Arus petir mengalir dalam suatu penghantar akan menghasilkan medan magnet. Medan magnet akan berhubungan dengan penghantar lainnya sehingga menyebabkan terjadinya loop tegangan dengan nilai tegangan cukup tinggi.



**Gambar 2.18** Kopling Induktif

#### 2.1.1.7. Frekuensi Sambaran Petir

Jumlah rata – rata frekuensi sambaran petir langsung pertahun (Nd) dapat dihitung dengan perkalian kepadatan kilat ke bumi pertahun (Ng) dan luas daerah perlindungan efektif pada gedung (Ae)

$$Nd = Ng \cdot Ae \cdot 10^{-6} \dots\dots\dots (2.3)$$

Kerapatan sambaran petir ke tanah dipengaruhi oleh hari guruh rata – rata per tahun di daerah tersebut. Hal ini ditunjukkan oleh hubungan sebagai berikut :

$$Ng = 4 \cdot 10^{-2} \cdot T^{1.26} \dots\dots\dots (2.4)$$

Sedangkan besar Ae dapat dihitung sebagai berikut :

$$Ae = ab + 6h(a+b) + 9\pi h^2 \dots\dots\dots (2.5)$$

Maka dengan ketiga persamaan diatas, nilai Nd dapat dicari dengan persamaan berikut :

$$Nd = 4.10^{-2} \cdot T^{1.26} ( ab+6 h( a+ b) + 9 \pi h^2) \dots\dots\dots (2.6)$$

dimana :

a = Panjang atap gedung (m)

b = Lebar atap gedung (m)

h = Tinggi atap gedung (m)

Td = Hari guruh pertahun

Ng = Kerapatan sambaran petir ke tanah (sambaran/Km<sup>2</sup>/tahun )

Ae = Luas daerah yang memiliki angka sambaran petir sebesar Nd (Km<sup>2</sup>)

Area cakupan ekivalen dari bangunan gedung adalah area permukaan tanah yang dianggap sebagai bangunan gedung yang mempunyai frekuensi sambaran petir langsung tahunan.

#### **2.1.1.8. Hari guruh**

Menurut definisi WMO (*World Meteorological Organization*), hari guruh adalah banyaknya hari dimana terdengar guntur paling sedikit satu kali dalam

jarak kira-kira 15 km dari stasiun pengamatan. Hari guruh ini disebut juga hari badai guntur (*thunderstorm days*). Data Meteorologi dan Badan Meteorologi dan Geofisika menunjukkan adanya beberapa daerah di Indonesia yang jumlah Hari Badai Guntur per tahunnya cukup tinggi, antara lain : sebagian daerah Sumatera Utara, daerah Jawa Barat, Jawa Tengah, Jawa Timur, dan daerah Irian Jaya dimana hari badai gunturnya lebih dari 100 hari per tahun.

Petir yang terjadi memiliki intensitas sambaran yang harus selalu diamati setiap periode untuk dapat memperkirakan faktor resiko sambaran pada suatu wilayah, sehingga dapat diperkirakan kebutuhan bangunan akan proteksi petir. Adapun hal-hal yang diperlukan didalam memperkirakan faktor resiko sambaran adalah :

1. *Isokeraunic level* : jumlah hari sambaran per tahun
2. *Lightning strike rate* : jumlah sambaran ke tanah per km<sup>2</sup> per tahun.

*Lightning strike rate* / curah petir menentukan tingkat bahaya sambaran pada suatu wilayah dan besarnya ditentukan oleh isokeraunic level. Nilai *lightning strike rate* ini bervariasi secara signifikan, dihitung dari rata-rata kerapatan *annual* yang dihitung dari observasi dalam satu periode selama bertahun-tahun.<sup>9</sup>

#### **2.1.1.9. Taksiran Risiko**

Suatu instalasi penangkal petir harus dapat melindungi semua bagian dari struktur bangunan dan arealnya termasuk manusia serta peralatan yang ada di dalamnya terhadap ancaman bahaya dan kerusakan akibat sambaran petir. Berikut

---

<sup>9</sup> Soli Akbar Hutagalog: Studi Tentang Sistem Penangkal Petir Pada BTS (Base Transceiver Station), (Aplikasi pada PT.Telkomsel-Banda Aceh), 2010. Hal. 23

ini akan dibahas mengenai cara menentukan besarnya kebutuhan bangunan akan proteksi petir menggunakan beberapa standar, yaitu berdasarkan Peraturan Umum Instalasi Penangkal Petir (PUIPP), *Nasional Fire Protection Association (NFPA) 780*, *International Electrotechnical Commission (IEC) 1024-1-1*.

#### **2.1.1.9.1. Berdasarkan Peraturan Umum Instalasi Penangkal Petir (PUIPP)**

Jenis bangunan yang perlu diberi penangkal petir dikelompokkan menjadi:

1. Bangunan tinggi, seperti gedung bertingkat, menara, dan cerobong pabrik.
2. Bangunan penyimpanan bahan mudah meledak atau terbakar, misalnya pabrik amunisi, gudang bahan kimia.
3. Bangunan untuk kepentingan umum, seperti gedung sekolah, stasiun, bandara, dan sebagainya.
4. Bangunan yang mempunyai fungsi khusus dan nilai estetika, misalnya museum, gedung arsip negara.

Besarnya kebutuhan suatu bangunan akan suatu instalasi proteksi petir ditentukan oleh besarnya kemungkinan kerusakan serta bahaya yang terjadi jika bangunan tersebut tersambar petir. Berdasarkan Peraturan Umum Instalasi Penangkal Petir (PUIPP), besarnya kebutuhan tersebut mengacu kepada penjumlahan indeks-indeks tertentu yang mewakili keadaan bangunan di suatu lokasi dan dituliskan sebagai berikut :

$$R = A+B+C+D+E \dots\dots\dots (2.7)$$

Berdasarkan persamaan di atas, dapat dilihat bahwa semakin besar nilai indeks, maka semakin besar pula resiko (R) yang ditanggung suatu bangunan. Maka dari itu, semakin besar pula kebutuhan bangunan tersebut akan

sistem proteksi petir. Nilai indeks pada persamaan (2.7) dapat dilihat pada tabel berikut :

**Tabel 2.1.** Indeks A: Bahaya Berdasarkan Penggunaan dan Isi Bangunan

<b>Penggunaan dan Isi</b>	<b>Indeks A</b>
Bangunan biasa yang tak perlu diamankan baik bangunan maupun isinya	-10
Bangunan dan isinya jarang digunakan misalnya, danau di tengah sawah atau ladang, menara atau tiang dari metal	0
Bangunan yang berisi peralatan sehari-hari atau tempat tinggal, misalnya rumah tinggal, industri kecil, dan stasiun kereta api	1
Bangunan atau isinya cukup penting, misalnya menara air, toko barang-barang berharga, dan kantor pemerintah	2
Bangunan yang berisi banyak sekali orang, misalnya bioskop, sarana ibadah, sekolah, dan monumen bersejarah yang penting	3
Instalasi gas, minyak atau bensin, dan rumah sakit	5
Bangunan yang mudah meledak dan dapat	15

menimbulkan bahaya yang tidak terkendali bagi sekitarnya, misalnya instalasi nuklir	
---	--

Sumber : Direktorat Penyelidikan Masalah Bangunan *Peraturan Umum Instalasi Penyalur Petir (PUIPP) untuk Bangunan di Indonesia*. Hal. 17

**Tabel 2.2.** Indeks B: Bahaya berdasarkan Kontruksi Bangunan

<b>Konstruksi Bangunan</b>	<b>Indeks B</b>
Seluruh bangunan terbuat dari logam dan mudah menyalurkan listrik	0
Bangunan dengan konstruksi beton bertulang atau rangka besi dengan atap logam	1
Bangunan dengan konstruksi beton bertulang, kerangka besi, dan atap bukan logam	2
Bangunan kayu dengan atap bukan logam	3

Sumber : Direktorat Penyelidikan Masalah Bangunan *Peraturan Umum Instalasi Penyalur Petir (PUIPP) untuk Bangunan di Indonesia*. Hal. 17

**Tabel 2.3.** Indeks C: Bahaya berdasarkan Tinggi Bangunan

<b>Tinggi bangunan sampai.....(m)</b>	<b>Indeks C</b>
6	0
12	2
17	3
25	4
35	5
50	6
70	7
100	8
140	9
200	10

Sumber : Direktorat Penyelidikan Masalah Bangunan *Peraturan Umum Instalasi*

*Penyalur Petir (PUIPP) untuk Bangunan di Indonesia*. Hal. 17

**Tabel 2.4.** Indeks D: Bahaya berdasarkan Situasi Bangunan

<b>Situasi Bangunan</b>	<b>Indeks D</b>
Di tanah datar pada semua ketinggian	0

Di kaki bukit sampai $\frac{3}{4}$ tinggi bukit atau di pegunungan sampai 1000 meter	1
Di puncak gunung atau pegunungan yang lebih dari 1000 meter	2

Sumber : Direktorat Penyelidikan Masalah Bangunan *Peraturan Umum Instalasi  
Penyalur Petir (PUIPP) untuk Bangunan di Indonesia*. Hal. 17

**Tabel 2.5.** Indeks E: Bahaya berdasarkan Hari Guruh

<b>Hari Guruh per Tahun</b>	<b>Indeks E</b>
2	0
4	1
8	2
16	3
32	4
64	5
128	6
256	7

Sumber : Direktorat Penyelidikan Masalah Bangunan *Peraturan Umum Instalasi  
Penyalur Petir (PUIPP) untuk Bangunan di Indonesia*. Hal. 17

**Tabel 2.6.** Indeks R: Perkiraan Bahaya Sambaran Petir berdasarkan PUIPP

<b>R</b>	<b>Perkiraan Bahaya</b>	<b>Pengamanan</b>
Di bawah 11	Diabaikan	Tidak perlu
Sama dengan 11	Kecil	Tidak perlu
12	Sedang	Dianjurkan
13	Agak besar	Dianjurkan
14	Besar	Sangat dianjurkan
Lebih dari 14	Sangat besar	Sangat perlu

Sumber : Direktorat Penyelidikan Masalah Bangunan *Peraturan Umum Instalasi*

*Penyalur Petir (PUIPP) untuk Bangunan di Indonesia*. Hal. 17

#### 2.1.1.9.2. Berdasarkan *National Fire Protection Association (NFPA) 780*

Cara penentuan yang digunakan pada standar NFPA 780 hampir sama dengan cara yang digunakan pada PUIPP, yaitu dengan menjumlahkan beberapa indeks yang mewakili keadaan lokasi struktur bangunan berada, kemudian hasil penjumlahan dibagi dengan indeks yang mewakili *isokerainic level* di daerah tersebut. Secara matematis dituliskan sebagai berikut

$$R = (A+B+C+D+E) / F \dots\dots\dots (2.8)$$

Nilai indeks pada persamaan (2.8) dapat dilihat pada tabel berikut :

**Tabel 2.7.** Indeks A: Jenis Struktur

<b>Jenis Struktur</b>	<b>Indeks A</b>
Rumah kediaman yang kurang dari 465 m <sup>2</sup>	1
Rumah kediaman yang lebih dari 465 m <sup>2</sup>	2
Perumahan, kantor atau bangunan pabrik dengan tinggi kurang dari 15 meter  - Melingkupi area kurang dari 2323 m <sup>2</sup> - Melingkupi area lebih dari 2323 m <sup>2</sup>	3  5
Perumahan, kantor atau bangunan pabrik dengan tinggi 15-23 meter	4
Perumahan, kantor atau bangunan pabrik dengan tinggi 23-46 meter	5
Perumahan, kantor atau bangunan pabrik dengan tinggi lebih dari 46 meter	8
Kantor pelayanan milik pemerintah misalnya pemadam kebakaran, kantor polisi dan perusahaan air minum	7
Hangar pesawat terbang	7
Pembangkit listrik dan sentral telepon	8

Menara air dan cooling tower	8
Perpustakaan, museum dan bangunan bersejarah	8
Bangunan pertanian	9
Tempat bernaung di daerah rekreasi	9
Bangunan yang berisi banyak orang, misalnya sekolah, tempat ibadah, bioskop, dan stadion olahraga	9
Struktur yang ramping dan tinggi, misalnya cerobong asap, menara pengawas, dan mercusuar	10
Rumah sakit, penampungan para lansia dan penyandang cacat	10
Bangunan tempat membuat dan menyimpan bahan berbahaya, misalnya zat kimia	10

Sumber : *National Fire Protection Association 780*. Hal. 35

**Tabel 2.8.** Indeks B: Jenis Konstruksi

<b>Kerangka Struktur</b>	<b>Jenis Atap</b>	<b>Indeks B</b>
Bukan Logam	Kayu	5
	Campuran aspal, ter atau genteng	3

	Logam yang tidak saling terhubung	4
	Logam yang terhubung secara elektrik	1
Kayu	Kayu	5
	Campuran aspal, ter atau genteng	3
	Logam yang tidak saling terhubung	4
	Logam yang terhubung secara elektrik	2
Beton bertulang	Kayu	5
	Campuran aspal, ter atau genteng	3
	Logam yang tidak saling terhubung	4
	Logam yang terhubung secara elektrik	1
Kerangka baja	Kayu	4
	Campuran aspal, ter atau genteng	3
	Logam yang tidak saling terhubung	3
	Logam yang terhubung secara elektrik	1

Sumber : *National Fire Protection Association 780*. Hal. 35

**Tabel 2.9.** Indeks C: Lokasi Bangunan

<b>Lokasi Bangunan</b>	<b>Indeks C</b>
Bangunan dalam area bangunan yang lebih tinggi	
- Bangunan kecil, melingkupi area kurang dari 929 m <sup>2</sup>	1
- Bangunan besar, melingkupi area lebih dari 929 m <sup>2</sup>	2
Bangunan dalam area bangunan yang lebih rendah	
- Bangunan kecil, melingkupi area kurang dari 929 m <sup>2</sup>	4
- Bangunan besar, melingkupi area lebih dari 929 m <sup>2</sup>	5
Struktur diperpanjang sampai 15.2 m di atas permukaan tanah	7
Struktur diperpanjang sampai lebih dari 15.2 m di atas permukaan tanah	10

Sumber : *National Fire Protection Association 780*. Hal. 35

**Tabel 2.10.** Indeks D: Topografi

<b>Lokasi</b>	<b>Indeks D</b>
Pada tanah datar	1
Pada sisi bukit	2

Di atas puncak bukit	4
Di atas puncak gunung	5

Sumber : *National Fire Protection Association* 780. Hal. 35

**Tabel 2.11.** Indeks E: Penggunaan dan Isi Bangunan

<b>Penggunaan dan Isi Bangunan</b>	<b>Indeks E</b>
Bahan yang tidak mudah terbakar	1
Perabotan rumah tangga	2
Perlengkapan atau perabotan biasa	2
Ternak peliharaan	3
Bangunan berisi sedikit orang (kurang dari 50 orang)	4
Bahan yang mudah terbakar	5
Bangunan berisi banyak orang (50 orang atau lebih)	6
Peralatan atau barang berharga	7
Pelayanan umum seperti pemadam kebakaran dan kantor polisi	8
Gas atau cairan yang mudah meledak	8

Peralatan operasi yang sensitive	9
Benda bersejarah	10
Peledak dan bahan pembuatnya	10

Sumber : *National Fire Protection Association 780*. Hal. 35

**Tabel 2.12.** Indeks F: *Isokeraunic Level*

<b>Isokeraunic Level</b>	<b>Indeks F</b>
0-5	9
6-10	8
11-20	7
21-30	6
31-40	5
41-50	4
51-60	3
61-70	2
Lebih dari 70	1

Sumber : *National Fire Protection Association 780*. Hal. 35

**Tabel 2.13.** Indeks R: Perkiraan Bahaya Sambaran Petir berdasarkan NFPA 780

<b>R</b>	<b>Pengamanan</b>
0-2	Tidak perlu
2-3	Dianjurkan
3-4	Dianjurkan
4-7	Sangat dianjurkan
Lebih dari 7	Sangat perlu

Sumber : *National Fire Protection Association 780*. Hal. 35

### 2.1.1.9.3. Berdasarkan Pada *International Electrotechnical Commission (IEC)*

#### 1024-1-1

Berdasarkan standar IEC 1024-1-1, pemilihan tingkat proteksi yang memadai untuk suatu sistem proteksi petir didasarkan pada frekuensi sambaran petir langsung setempat yang diperkirakan ke struktur yang diproteksi ( $N_d$ ) dan frekuensi sambaran petir tahunan setempat yang diperbolehkan ( $N_c$ ). Kerapatan kilat petir ke tanah atau kerapatan sambaran petir ke tanah rata-rata tahunan di daerah tempat suatu struktur berada dinyatakan sebagai berikut.

$$N_g = 0,04 \times T_d^{1,26} / \text{km}^2 / \text{tahun} \dots\dots\dots (2.9)$$

di mana IKL adalah *isokeraunic level* di daerah tempat struktur yang akan diproteksi.

$$N_d = N_g \times A_e \times 10^{-6} / \text{tahun} \dots\dots\dots (2.10)$$

di mana  $A_e$  adalah area cakupan dari struktur ( $m^2$ ), yaitu daerah permukaan tanah yang dianggap sebagai struktur yang mempunyai frekuensi sambaran langsung tahunan. Daerah yang diproteksi adalah daerah di sekitar struktur sejauh  $3h$  di mana  $h$  adalah tinggi struktur yang diproteksi. Pengambilan keputusan (perlu atau tidaknya memasang sistem proteksi petir pada bangunan) berdasarkan perhitungan  $N_d$  dan  $N_c$  dilakukan sebagai berikut.

- Jika  $N_d \leq N_c$  tidak perlu sistem proteksi petir.
- Jika  $N_d > N_c$  diperlukan sistem proteksi petir dengan efisiensi:

$$E \geq 1 - N_c / N_d \dots\dots\dots (2.11)$$

dengan tingkat proteksi sesuai Tabel 2.14.

**Tabel 2.14.** Efisiensi Sistem Proteksi Petir

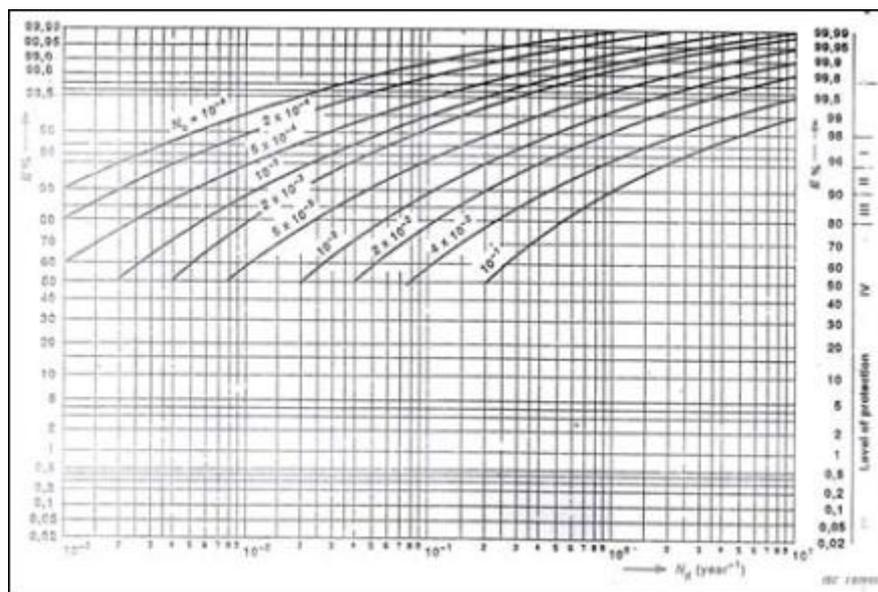
<b>Tingkat Proteksi</b>	<b>Efisiensi SPP</b>
I	0,98
II	0,95
III	0,90
IV	0,80

**Tabel 2.15.** Penempatan Terminasi Udara Berdasarkan Tingkat Proteksi

Tingkat Proteksi	h (m)	20	30	45	60	Lebar Jala (m)
	R (m)	$a^0$	$a^0$	$a^0$	$a^0$	
I	20	25	0	0	0	5
II	30	35	25	0	0	10
III	45	45	35	25	0	15
IV	60	55	45	35	25	20

Sumber : Standar Nasional Indonesia. *Proteksi Bangunan Terhadap Petir.* (2004)

Grafik nilai kritis efisiensi sistem proteksi petir, yaitu perbandingan  $N_c$  dengan  $N_d$  ditunjukkan dalam Gambar 2.<sup>10</sup>



Gambar 2.19 Nilai Kritis Efisiensi Sistem Proteksi Petir

### 2.1.1.10. Proteksi petir

<sup>10</sup> <http://penulispro.net/2014/07/petir-dan-penangkal-petir/> (diakses 5 November 2014 pukul 23.10 WIB)

Proteksi petir bertujuan untuk melindungi suatu wilayah dari sambaran petir. Cara kerja penangkal petir adalah menyalurkan/menghantarkan energi listrik dari petir untuk dinetralkan di bumi. Sistem proteksi terhadap petir secara umum dibagi dalam dua bagian yaitu :

### **1. Sistem Proteksi Petir Internal**

Proteksi internal adalah proteksi peralatan elektronik terhadap efek dari arus petir terutama efek medan magnet dan medan listrik terhadap instalasi listrik atau instalasi yang terdiri dari metal. Langkah proteksi yang dilakukan merupakan integrasi dari sarana penyamaan potensial, pemasangan *arrester* arus atau *arrester* tegangan, serta tindakan perlindungan dengan pencadangan (*screening*). Penyamaan potensial dilakukan dengan menghubungkan konduktor *bonding* yang terbuat dari logam, instalasi dari logam, instalasi listrik, dan instalasi telekomunikasi dalam bangunan yang diproteksi.

Di dalam proteksi petir dengan penyamaan potensial, *arrester* tegangan dipasang pada titik dimana kabel tenaga masuk ke dalam bangunan. *Surge arrester* atau yang biasa disebut *surge diverter* berfungsi untuk melindungi peralatan sistem tenaga listrik dengan cara membatasi surja tegangan lebih yang datang dan mengalirkannya ke tanah. Berdasarkan fungsi tersebut, *arrester* harus dapat menahan tegangan untuk waktu yang tak terbatas dan harus dapat melewatkan arus surja ke tanah tanpa mengalami kerusakan.

### **2. Sistem Proteksi Petir Eksternal**

Sistem Proteksi Petir Eksternal menghindari bahaya langsung suatu sambaran petir pada instalasi-instalasi, peralatan-peralatan yang terpasang di luar

gedung/bangunan, di menara dan bagian-bagian luar bangunan. Dalam hal ini termasuk juga perlindungan terhadap manusia yang berada di luar gedung.

Sistem Proteksi Petir Eksternal pada dasarnya terdiri dari :

**a. Terminasi udara (*Air Terminal*)**

Terminasi udara adalah bagian sistem proteksi petir eksternal yang dikhususkan untuk menangkap sambaran petir, berupa elektroda logam yang dipasang secara tegak maupun mendatar. Penangkap petir ditempatkan sedemikian rupa sehingga mampu menangkap semua petir yang menyambar tanpa mengenai bagian gedung, bangunan atau daerah yang dilindungi (zona proteksi).

Posisi penyalur petir yang vertikal membuat tampak atasnya hanya berupa suatu titik, sehingga bila *step leader* mendekati penyalur petir dari daerah manapun akan mengalami reaksi yang sama (tanpa kondisi khusus). Hal ini menggambarkan secara umum bahwa perilaku penyalur petir dalam melindungi daerahnya cenderung untuk membentuk suatu lingkup volume dengan penyalur petir sebagai sumbu.

Bidang dasar zona proteksinya merupakan suatu lingkaran dengan penyalur petir sebagai titik pusat. Oleh sebab itu, untuk menyatakan kemampuan proteksi penyalur petir digunakan sebutan *radius proteksi* atau jari-jari proteksi, yaitu jarak terjauh.

**b. Konduktor penyalur arus petir (*Down Conductor*)**

*Down Conductor* berfungsi sebagai penyalur arus petir yang mengenai Terminasi udara (terminal udara) dan diteruskan ke pembumian/ *grounding*.

Pemilihan jumlah dan posisi konduktor penyalur sebaiknya memperhitungkan kenyataan bahwa, jika arus petir dibagi dalam beberapa konduktor penyalur, resiko loncatan kesamping dan gangguan elektro magnetik didalam gedung berkurang. Jenis-jenis bahan penghantar penyalur :

1. Kawat Tembaga (*BCC=Bare Cooper Cable*)
2. Aluminium (*AAC=All Aluminium Cable*)
3. Campuran Aluminium dan Baja (*ACSR=Aluminium Cable Steel Reinforced*)
4. Kawat baja yang diberi lapisan tembaga (*cooper weld*)
5. Aluminium Puntir Berisolasi (*Twisted wire*)
6. Kawat baja, dipakai pada kawat petir dan pertanahan

Jenis penghantar penyalur yang dipakai adalah *BCC (Bare Cooper Cable)* atau lebih sering dikatakan BC, yaitu tembaga telanjang yang dipasang di luar bangunan. Penghantar ini sebagai penghubung antara sistem terminasi udara dengan konektor ke sistem pembumian. Bahan – bahan yang digunakan untuk penghantar penyalur suatu penyalur petir harus berdasarkan beberapa faktor antara lain ketahanan terhadap panas, pengaruh kimia terutama korosi, konduktivitas tinggi, kekuatan tarik mekanikal tinggi, ringan dan murah, serta tidak mudah patah.

### **c. Pembumian (*Grounding*)**

Sistem pembumian (*grounding system*): suatu perangkat instalasi yang berfungsi untuk melepaskan arus petir ke dalam bumi, salah satu

kegunaannya untuk melepas muatan arus petir. *Grounding system* dapat berupa elektroda pita, batang, atau plat.

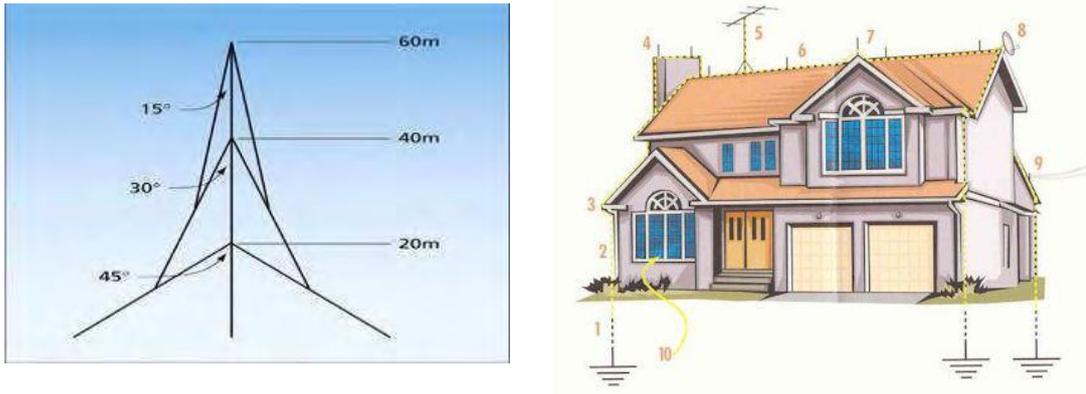
#### **2.1.1.11. Jenis-jenis Proteksi Petir**

##### **2.1.1.11.1. Proteksi Petir Pasif**

#### **1. *Franklin Rod* (Tongkat Franklin)**

Pengamanan bangunan terhadap sambaran kilat dengan menggunakan sistem penangkal petir Franklin merupakan cara yang tertua namun masih sering digunakan karena hasilnya dianggap cukup memuaskan, terutama untuk bangunan-bangunan dengan bentuk tertentu, seperti misalnya : menara, gereja dan bangunan-bangunan lain yang beratap runcing.

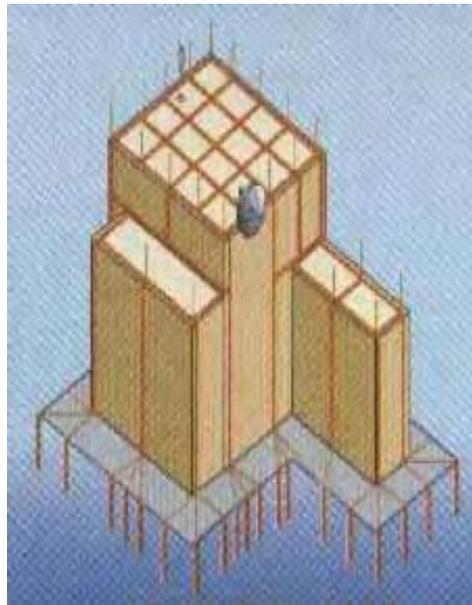
*Franklin Rod* (Tongkat Franklin), alat ini berupa kerucut tembaga dengan daerah perlindungan berupa kerucut imajiner dengan sudut puncak  $112^\circ$ . Agar daerah perlindungan besar, *Franklin Rod* dipasang pada pipa besi (dengan tinggi 1-3 meter). Makin jauh dari *Franklin Rod* makin lemah perlindungan di dalam daerah perlindungan tersebut. Sistem yang digunakan untuk mengetahui area proteksi dari penyalur petir ini adalah dengan menggunakan sistem proteksi kerucut.



**Gambar 2.20** Sistem Proteksi Kerucut

## 2. Sangkar Faraday

Untuk mengatasi kelemahan *Franklin Rod* karena adanya daerah yang tidak terlindungi dan daerah perlindungan melemah bila jarak makin jauh dari Franklin Rod-nya maka dibuat Sistem Sangkar Faraday. Sangkar faraday mempunyai sistem dan sifat seperti *Franklin Rod*, tapi pemasangannya diseluruh permukaan atap bangunan dengan tinggi tiang yang lebih rendah.





**Gambar 2.21** Metoda Sangkar Faraday

### 3. Non – Konvensional ( *Early Streamer Emission* )

Metoda ini pertama kali dipatenkan oleh Gusta P Carpart tahun 1931. Sebelumnya seorang ilmuwan Hungaria, Szillard tahun 1941 pernah melontarkan gagasan untuk menambahkan bahan radioaktif pada *franklin rod* guna meningkatkan tarikan pada sambaran petir. Metoda ini terdiri atas *franklin rod* dengan bahan radioaktif radium atau sumber *thorium* sebagai penghasil ion yang dihubungkan ke pentanahan melalui penghantar khusus.

Sistem proteksi petir *Early Streamer Emission* adalah pendekatan relatif terbaru dalam penyelesaian masalah kerusakan instalasi petir, yang dilengkapi dengan sistem FR. Peralatan ESE non radioaktif yang banyak digunakan adalah *Pulsar* (dikembangkan oleh Helita, Perancis), *Dynasphere* (dikembangkan oleh Erico, Australia), *Prevectron* (dikembangkan oleh Indelec, Perancis) dan *EF* (dikembangkan EF International, Swiss).

Luas daerah proteksi (protection area) merupakan kemampuan suatu penangkal petir guna melindungi daerah yang seharusnya termasuk dalam jangkauan proteksi. Maka luas daerah proteksi dapat dihitung berdasarkan rumus :

$$A_x = \pi \cdot r_s^2 \dots\dots\dots (2.12)$$

Keterangan :

$A_x$  = Luas daerah proteksi (meter<sup>2</sup>)

$r_s$  = Radius proteksi (meter)

dengan sudut lindung :  $\alpha^\circ = \sin^{-1} \left( 1 - \frac{h}{r} \right)$

$\alpha^\circ$  = sudut proteksi

$h$  = tinggi gedung (meter)

$r$  = radius proteksi (meter)

Radius dari proteksi,  $R_p$  dari alat ESE digambarkan pada gambar berikut dari standar perancis NF C 17 – 102. Hal ini tergantung pada alat inisiasi,  $\Delta T$  dari alat ESE. Radius dari proteksi,  $R_p$  di dapat dari :

$$R_p = h(2 D - h) + \Delta L(2 D + \Delta L) \dots\dots\dots (2.13)$$

dimana :

$R_p$  = Radius dari proteksi dalam area horizontal dalam jarak vertical  $h$  dari ujung tipe ESE dari NCLR

$h$  = Tinggi dari ujung atas terminal elemen yang diproteksi, untuk  $h \geq 5$  m

$D = 20$  m untuk tingkat proteksi I

45 m untuk tingkat proteksi II

60 m untuk tingkat proteksi III

$\Delta L$  (m) = tambahan jarak

Tambahan jarak,  $\Delta L$  didapat dari :

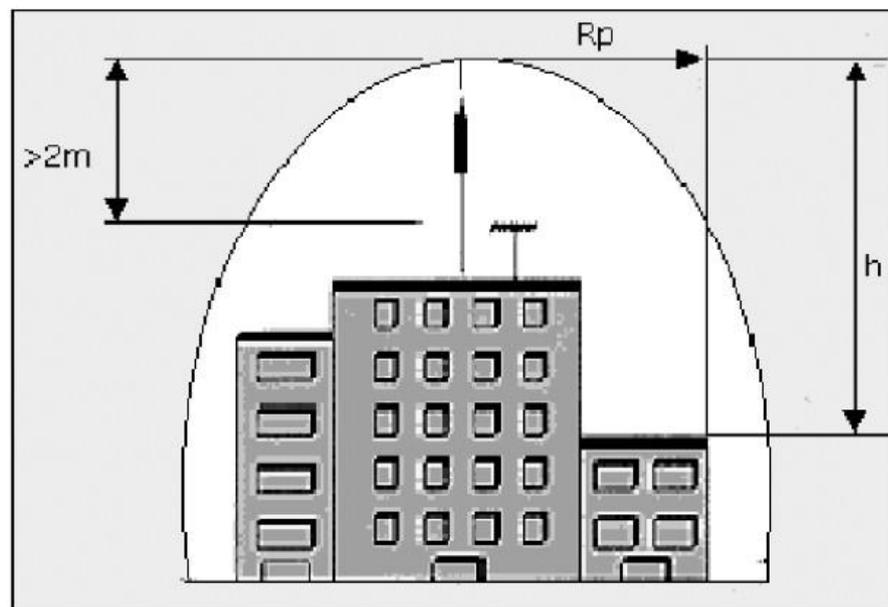
$$\Delta L = V\Delta T \dots\dots\dots (2.14)$$

dimana :

$V$ (m/ $\mu$ s) = Rata – rata kecepatan dari *tracer* yang turun ( $2 \times 10^4$  m/s)

$\Delta T$ ( $\mu$ s) = Tambahan dalam waktu *spark* dari *leader* yang keatas diukur dalam

kondisi lab.



Gambar 2.22 Metoda Non Konvensional

$$\Delta T = TFR - TESE \dots \dots \dots (2.15)$$

Untuk tinggi terminal yang lebih rendah dari 5 m, nilai dari Rp yang respektif bisa diperoleh dari tabel pembuktian dari standar Perancis NFC. Jadi performa yang unggul dari tipe ini adalah dating dari kemampuan untuk menyebabkan inisiasi yang lebih awal dari *streamer* secara terus menerus ke atas daripada sebuah FR dalam kondisi yang sama dari sambaran petir.

#### **2.1.1.11.2. Proteksi Petir Aktif**

##### **1. Ionisasi Corona**

Sistem ini bersifat menarik petir untuk menyambar ke ujung penyalur petir dengan cara memancarkan ion-ion ke udara. Kerapatan ion semakin besar bila jarak ke ujung penyalur petir semakin dekat. Pemancaran ion dapat menggunakan generator atau baterai cadangan (*generated ionization*) atau secara alami (*natural ionization*). Area perlindungan sistem ini berupa bola dengan radius mencapai 120 meter dan radius ini akan mengecil dengan sejalan bertambahnya umur. Sistem ini dapat dikenali dan kepalanya yang dikelilingi 3 bilah pembangkit beda tegangan dan dipasang pada tiang tinggi.

##### **2. Radioaktif**

Penelitian terus berkembang dan dihasilkan kesimpulan bahwa petir terjadi karena ada muatan listrik di awan yang dihasilkan oleh proses ionisasi. Maka dari itu, penggalan proses ionisasi dilakukan dengan cara memakai zat beradiasi, misalnya Radium 226 ( $^{226}\text{Ra}$ ) dan Ameresium 241 ( $^{241}\text{Am}$ ). Hal tersebut karena 2 bahan ini mampu menghamburkan ion radiasinya yang bisa menetralkan muatan

listrik awan. Keberadaan penangkal petir jenis ini sudah dilarang pemakaiannya. Hal tersebut berdasarkan kesepakatan internasional dengan pertimbangan mengurangi pemakaian zat beradiasi di masyarakat yang disinyalir mempunyai efek negatif pada lingkungan hidup dan kesehatan.

Meskipun merupakan sistem penarik petir terbaik, namun sudah dilarang penggunaannya karena radiasi yang dipancarkannya dapat mengganggu kesehatan manusia. Selain itu sistem ini akan berkurang radius pengamanannya bersama waktu sesuai dengan sifat radioaktif. Jenis ini pernah dipasarkan sekitar tahun 1975 hingga tahun 1980. Namun karena adanya resiko bahaya radiasi radioaktif terhadap manusia dan keefektivannya sebagai penangkap petir tidak begitu jelas, maka belakangan tidak dipergunakan lagi. Bahkan khusus di Indonesia, pemasangan baru dengan sistem radioaktif sampai sekarang dilarang oleh Badan tenaga Atom Nasional (BATAN).



Gambar 2.23 Batang Finial Sistem Penangkal Petir Radioaktif<sup>11</sup>

---

<sup>11</sup> <http://penulispro.net/2014/07/petir-dan-penangkal-petir/> (diakses 5 November 2014 pukul 23.10 WIB)

#### 2.1.1.12. Sistem Pentanahan

Sistem pentanahan adalah sistem yang sengaja dibuat untuk menghubungkan bagian peralatan yang diamankan dengan penghantar netral yang ditanahkan untuk mengurangi bahaya shock pada manusia serta memberikan suatu jalan ke tanah untuk arus-arus gangguan, seperti arus induksi sambaran petir. Idealnya, tahanan sistem pentanahan harus 0 ohm untuk mengurangi setiap tegangan atau gradien tegangan yang menyebabkan arus-arus kesalahan menjadi nol.

Tetapi ini tidak mungkin karena keadaan demikian memerlukan nilai konduktivitas tanah yang besarnya tidak terbatas. Peraturan Umum Instalasi Listrik (PUIL) mencantumkan bahwa system pentanahan tidak boleh melebihi 5 ohm.

##### 1. Disipasi Energi Petir

Disipasi energi petir (*dissipate the lightning energy*) adalah elektroda dari logam yang ditanam di dalam tanah yang berfungsi untuk menyebarkan arus petir ke tanah, dapat berupa elektroda batang, pita atau plat. Sebagai bahan elektroda, digunakan tembaga atau baja digalvanisasi atau dilapisi tembaga sepanjang kondisi setempat tidak mengharuskan memakai bahan lain.

Pembumian disini dapat dipakai untuk pembumian netral sistem, pembumian *body* (badan) dari suatu benda (logam) yang seharusnya tidak boleh bertegangan dan pembumian penyalur petir, baik untuk menara transmisi atau bangunan-bangunan tinggi. Tahanan elektroda tanah adalah tahanan antara elektroda tanah atau sering disebut sistem pembumian dengan suatu tanah referensi. Tahanan pembumian adalah tahanan elektroda tanah dan hantaran hubung tanah. Tahanan

pembumian total adalah tahanan pembumian dari keseluruhan sistem pembumian yang terukur disuatu titik. Ada dua macam pembumian, yaitu :

a. Pembumian netral sistem

Menghubungkan ke tanah bagian dari sistem yang pada kerja normal dilalui oleh arus listrik. Tujuannya adalah untuk membatasi tegangan lebih peralihan selama terjadi kesalahan atau hubung singkat satu fasake tanah.

b. Pembumian peralatan

Menghubungkan ke tanah bagian dari peralatan yang pada kerja normal tidak dilalui oleh arus.

## **2. Pengurangan Loop Pembumian**

Pengurangan loop pembumian (*eliminate earth loops*) memungkinkan untuk mencegah terjadi adanya loncatan yang ditimbulkan adanya perbedaan potensial tegangan antara satu sistem pembumian dengan yang lainnya, dimana antar terminasi bumi dihubungkan satu sama lain.

## **3. Karakteristik Tanah**

Karakteristik tanah merupakan salah satu faktor yang mutlak diketahui karena mempunyai kaitan erat dengan perencanaan dan system pembumian yang akan digunakan. Pada suatu lokasi tertentu sering dijumpai beberapa jenis tanah yang mempunyai tahanan jenis yang berbeda-beda. Ada beberapa faktor yang mempengaruhi tahanan jenis tanah antara lain : pengaruh temperatur, pengaruh

gradien tegangan, pengaruh besarnya arus, pengaruh kandungan air dan pengaruh kandungan bahan kimia.

Pada sistem pembumian yang tidak mungkin atau tidak perlu untuk ditanam lebih dalam sehingga mencapai air tanah yang konstan, variasi tahanan jenis tanah sangat besar. Kadangkala pada penanaman elektroda memungkinkan kelembaban dan tempertur bervariasi, untuk hal seperti ini harga tahanan jenis tanah harus diambil dari keadaan yang paling buruk, yaitu tanah kering dan dingin.

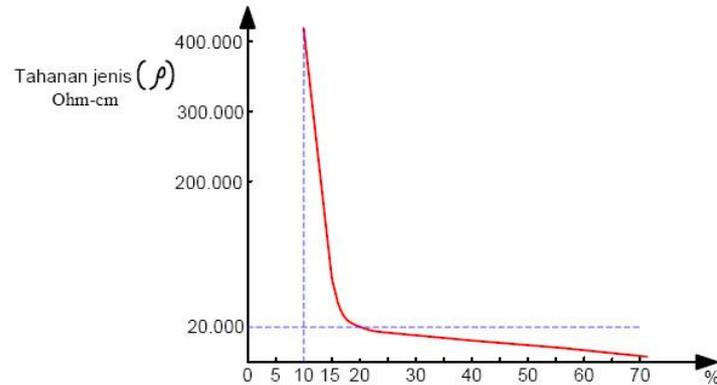
Jenis Tanah	Resistivitas Tanah $\rho$ (rho) [ohm-meter]	Resistansi Ground [ ohm ]		
		Kedalaman Elektrode		
		3 m	6 m	10 m
Rawa-rawa	30	10	5	3
Sawah / lumpur	100	33	17	10
Tanah berpasir basah	150	50	25	15
Tanah berpasir lembab	300	66	33	20
Beton campuran 1:5	400	-	-	-
Tanah berkerikil lembab	500	160	80	48
Tanah berpasir kering	1000	330	165	100
Tanah berkerikil kering	1000	330	165	100
Tanah berbatu	30000	1000	500	200
Karang / Cadas	10 mega	-	-	-

**Gambar 2.24** Daftar Karakteristik Jenis Tanah

#### 4. Komposisi Tanah

Besar tahanan pembumian sangat dipengaruhi oleh komposisi tanah, kelembaban dan temperatur. Oleh karena itu tahanan pembumian tidaklah konstan karena terjadi perubahan musim. Kelembaban tanah atau besar kecilnya konsentrasi air dalam tanah juga mempengaruhi harga tahanan tanah. Makin lembab atau makin banyak mengandung air makin kecil harga tahanan tanahnya. Hal ini dapat dengan mudah diterangkan dari proses elektrolisanya. Juga telah kita ketahui bahwa air bersifat konduktif. Tanah yang kering atau tanah dengan

konsentrasi air dibawah 10% mempunyai tahanan jenis tanah yang besar sekali, akan tetapi untuk konsentrasi 15% harga tersebut turun dengan drastis. Untuk itu dapat dilihat gambar dibawah ini.



Gambar 2.25 Hubungan antara konsentrasi air dengan tahanan jenis tanah

Atas dasar prinsip diatas, maka harus kita usahakan suatu elektoda pbumian ditanam sampai mencapai air tanah.

## 5. Elektroda Pbumian

Pada dasarnya ada 3 (tiga) jenis elektoda yang digunakan pada sistem pentanahan yaitu :

### a. Elektroda Batang

Sistem pbumian dengan elektoda batang adalah suatu system pbumian dengan menggunakan batang-batang elektoda yang ditanam tegak lurus dengan permukaan tanah. Banyaknya batang yang ditanam didalam tanah tergantung besar tahanan pbumian yang diinginkan. Makin kecil tahanan pbumian yang

diinginkan, makin banyak batang konduktor yang harus ditanam. Batang-batang konduktor ini dihubungkan satu dengan yang lainnya.



Gambar 2.26 Elektroda Batang<sup>12</sup>

Rumus tahanan pentanahan elektroda batang tunggal

$$R = \frac{\rho}{2\pi L} \left[ \ln\left(\frac{4L}{A}\right) - 1 \right] \dots\dots\dots (2.16)$$

di mana:

R = Tahanan pentanahan untuk batang tunggal (Ohm)

$\rho$  = Tahanan jenis tanah (Ohm-meter)

L = Panjang elektroda (meter)

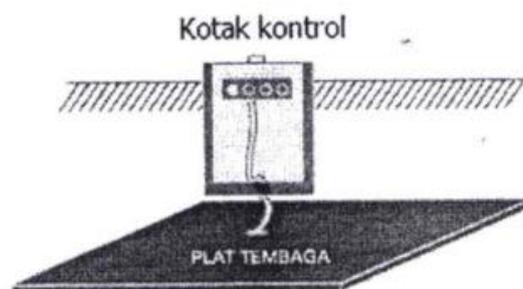
A = Diameter elektroda (meter)

---

<sup>12</sup> <http://margionoabdil.blogspot.com/2013/10/pengertian-tahanan-pentanahan.html> (diakses 5 November 2014 pukul 22.30 WIB)

## b. Elektroda Pelat

Elektroda pelat dibuat dari pelat logam, pelat logam berlubang atau kawat kasa. Pada umumnya elektroda jenis ini ditanam secara dalam. Bentuk elektroda pelat biasanya empat persegi atau empat persegi panjang yang terbuat dari tembaga, timah atau pelat baja yang ditanam didalam tanah. Cara penanaman biasanya secara vertical, sebab dengan menanam secara horizontal hasilnya tidak berbeda jauh dengan vertical. Penanaman secara vertical adalah lebih praktis dan ekonomis.



Gambar 2.27 Elektroda Pelat<sup>13</sup>

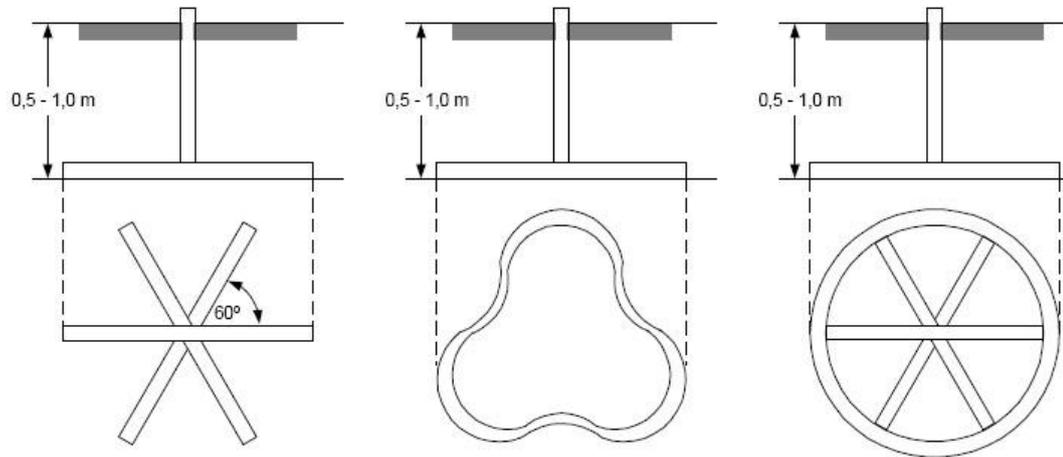
## c. Elektroda Pita

Elektroda Pita adalah elektroda yang dibuat dari penghantar berbentuk pita atau berpenampang bulat, atau penghantar pilin yang pada umumnya ditanamnya secara dangkal. Elektroda ini ditanam sejajar permukaan tanah dengan dalam antara 0,5–1 m. Elektroda pita ini bisa dipasang pada struktur tanah yang mempunyai tahanan jenis rendah pada permukaan dan pada daerah yang tidak

---

<sup>13</sup> <http://electricdot.files.wordpress.com/2012/12/pita.jpg?w=354&h=214> (diakses 5 November 2014 pukul 22.35 WIB)

mengalami kekeringan. Hal ini cocok untuk daerah – daerah pegunungan dimana harga tahanan jenis tanah makin tinggi dengan kedalaman.<sup>14</sup>



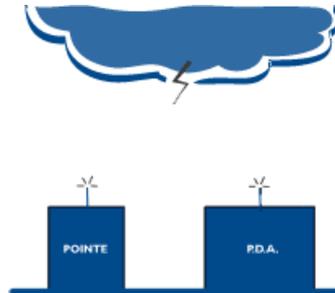
Gambar 2.28 Cara pemasangan elektroda pita

### 2.1.1.13 Penerapan Sistem Penangkal Petir Prevector 2 Millenium

Pada saat terdapat awan petir di udara maka akan terjadi perubahan tegangan permukaan tanah akibat dari perubahan medan magnetik, yang secara simultan terus dipengaruhi oleh muatan-muatan yang ada di udara. Setelah mencapai kenaikan tegangan permukaan ingá tingkat tertentu – yakni antara 50 dan 100 kV/m – maka efek korona akan terjadi pada sekitar ujung-ujung benda di permukaan tanah, fase ini adalah proses yang memungkinkan untuk terjadinya jalur peluahan muatan yang semakin membesar antara *upward leader* dan *downward leader*. Setelah terjadi kontak kedua aliran tersebut maka akan terjadi

<sup>14</sup> <http://ak4037.wordpress.com/2008/10/04/tahanan-pentanahan/> (diakses 7 November 2014 pukul 20.30 WIB)

*stroke* dan hal ini disebut dengan sambaran petir.



Dalam penangkal petir Early Streamer Emisión System (ESE) INDELEC Prevelectron ini terdapat beberapa blok bagian yang mendukung preforma sistem proteksi petir, antara lain :

- *Pickup* yang merupakan ujung metalik yang runcing tempat berlangsungnya proses efek korona. Pada ujung tersebut terbuat dari material tembaga atau stainless steel electrolytic yang berfungsi menghantarkan arus petir mengalir ke bawah menuju pentanahan.
- *Housing* berbahan stainless steel tahan air, yang terdiri dari :
  - \* *Upper Electrode*
  - \* Perangkat pemacu listrik hasil ionisasi
  - \* *Lower Electrode*

INDELEC Prevelectron memiliki serangkaian manfaat utama, antara lain :

- Tersedia pilihan 5 tipe yang menawarkan solusi spesifik untuk setiap proyek

- Operasional peralatan tersebut tidak membutuhkan sumber daya elektrik dari sumber listrik domestik.
- Kemampuan untuk bekerja dalam kondisi iklim ekstrim
- Desain struktur yang kuat hingga penangkal petir ini mampu menahan sambaran petir hingga 240 kA
- Konduktor Lightning hanya menjadi aktif ketika ada kenaikan intensitas medan listrik.
- Tersedia Hasil Test/ Test Report hasil pengujian penangkal petir ini pada laboratorium tegangan tinggi.
- Hasil tes Real-life & laporan ilmiah yang tersedia berdasarkan permintaan
- ISO 9001-2000 proses manufaktur (sertifikat # 116.884)

INDELEC Prevelectron terdapat 5 tipe yang tersedia, masing-masing tipe berdasarkan kekuatan ionisasi yang dihasilkan. Semakin kuat ionisasi maka daerah proteksi akan menjadi lebih luas.

Versi Millennium adalah versi terbaru dari INDELEC Prevelectron yang telah secara khusus dirancang untuk beroperasi pada kondisi iklim yang paling ekstrim (kelembaban dan panas yang tinggi).



Prevectoron@2 S6.60

Diam. 185 mm - H = 385 mm



Prevectoron@2 S4.50

Diam. 185 mm - H = 385 mm



Prevectoron@2 S3.40

Diam. 185 mm - H = 385 mm



Prevectoron@2 TS2.25

Diam. 100 mm - H = 330 mm

## Radius Perlindungan Prevector 2 Millenium

### Radius Proteksi

#### Protection radius

##### Protection Level I

h (m)	2	3	4	5	10	h (m)
S 6.60	31	47	63	<b>79</b>	79	S 6.60
S 4.50	27	41	55	<b>68</b>	69	S 4.50
S 3.40	23	35	46	<b>58</b>	59	S 3.40
TS 3.40	23	35	46	<b>58</b>	59	TS 3.40
TS 2.25	17	24	34	<b>42</b>	44	TS 2.25
TS 2.10	10	15	21	<b>26</b>	42	

##### Protection Level II

h (m)	2	3	4	5	10	h (m)
S 6.60	34	52	68	<b>86</b>	88	S 6.60
S 4.50	30	45	60	<b>76</b>	77	S 4.50
S 3.40	26	39	52	<b>65</b>	67	S 3.40
TS 3.40	26	39	52	<b>65</b>	67	TS 3.40
TS 2.25	19	29	39	<b>49</b>	51	TS 2.25
TS 2.10	12	19	25	<b>31</b>	34	

##### Protection Level III

h (m)	2	3	4	5	10	h (m)
S 6.60	39	58	78	<b>97</b>	99	S 6.60
S 4.50	34	52	69	<b>86</b>	88	S 4.50
S 3.40	30	45	60	<b>75</b>	77	S 3.40
TS 3.40	30	45	60	<b>75</b>	77	TS 3.40
TS 2.25	23	34	46	<b>57</b>	61	TS 2.25
TS 2.10	15	22	30	<b>38</b>	42	

##### Protection Level IV

h (m)	2	3	4	5	10	h (m)
S 6.60	43	64	85	<b>107</b>	109	S 6.60
S 4.50	38	57	76	<b>95</b>	98	S 4.50
S 3.40	33	50	67	<b>84</b>	87	S 3.40
TS 3.40	33	50	67	<b>84</b>	87	TS 3.40
TS 2.25	26	39	52	<b>65</b>	69	TS 2.25
TS 2.10	17	26	34	<b>43</b>	49	

## 2.2. Kerangka Berpikir

Penelitian ini dilakukan berdasarkan dengan semakin pesatnya perkembangan pembangunan gedung-gedung bertingkat khususnya di Provinsi DKI Jakarta. Dengan adanya penerapan sistem penangkal petir yang baik, aman, dan sesuai dengan standar peraturan-peraturan yang ditetapkan dapat meningkatkan tingkat keamanan baik itu dari segi system elektriknya, bangunannya, maupun bagi manusia sebagai penghuni bangunan tersebut.

Langkah dalam melakukan penelitian diawali dengan observasi lapangan (tempat penelitian). Setelah observasi dilakukan, langkah selanjutnya adalah melakukan perhitungan dan pengukuran. Dalam melakukan perhitungan, peneliti menggunakan sumber-sumber yang relevan guna mempermudah perhitungan taksiran resiko dan perhitungan lainnya.

Segala bentuk perhitungan dan pengukuran yang dilakukan bertujuan untuk membandingkan hasil perhitungan dengan keadaan yang sebenarnya di lapangan. Penelitian dilakukan dibantu oleh berbagai pihak pembimbing untuk mempermudah peneliti mengambil data-data yang diperlukan.

Setelah menganalisis perhitungan serta melakukan pengukuran dengan observasi lapangan, maka dilakukan penyusunan laporan serta segala pembahasan dan berbagai kesimpulan guna menyelesaikan kewajiban peneliti untuk menyelesaikan tugas akhir.