

## **BAB II**

### **LANDASAN TEORI**

#### **2.1 Pengertian Petir**

Petir merupakan peristiwa pelepasan listrik antara suatu awan bermuatan dengan bumi, atau antara awan bermuatan dengan awan bermuatan lainnya/proses pelepasan muatan listrik (*electrical discharge*) yang terjadi di atmosfer. Dalam peristiwa ini, jarak antara awan ke awan atau awan ke bumi relatif cukup tinggi dan dapat diasumsikan sebagai jarak antar elektroda (Yuniarti, 2009).

#### **2.2 Proses Terjadinya Petir**

Faktor-faktor yang mempengaruhi pembentukan atau pengumpulan muatan di awan begitu banyak dan tidak pasti. Tekanan atmosfer akan makin menurun dengan makin bertambahnya ketinggian suatu tempat dari permukaan horizontal. Pergerakan udara (sering disebut angin) ini akan membawa udara lembab ke atas, kemudian udara lembab ini akan mengalami kondensasi menjadi uap air, lalu berkumpul menjadi titik-titik air yang pada akhirnya membentuk awan (K.Arrosyada,2013).

Angin kencang yang meniup awan akan membuat awan mengalami pergeseran secara horizontal maupun vertikal, ditambah dengan benturan antara titik-titik air yang ada dalam awan tersebut dengan partikel-partikel udara yang dapat memungkinkan terjadinya pemisahan muatan listrik didalam awan tersebut. Butiran air yang bermuatan positif biasanya berada dibagian atas dan yang

bermuatan negatif dibagian bawah. Dengan adanya awan yang bermuatan induksi pada permukaan bumi sehingga menimbulkan medan listrik antar bumi dengan awan (K.Arrosyada,2013).

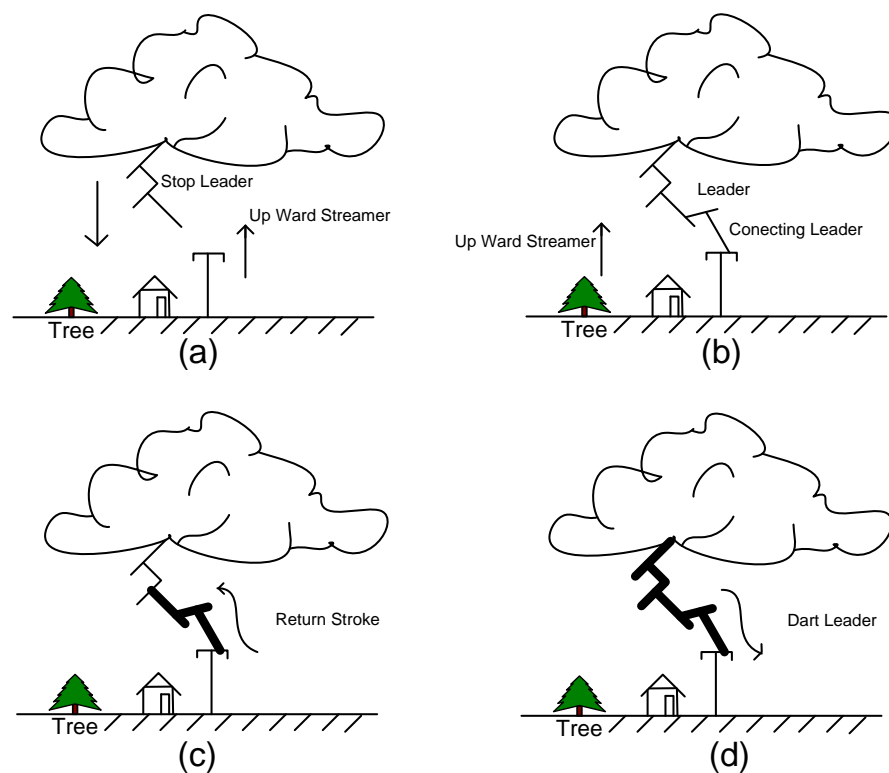
Mengingat dimensi bumi dianggap rata terhadap awan sehingga bumi dan awan dianggap sebagai dua plat sejajar membentuk kapasitor. Jika medan listrik yang terjadi melebihi medan tembus udara, maka akan terjadi pelepasan muatan. Terjadinya pelepasan udara inilah yang disebut sebagai petir (K.Arrosyada,2013).

Setelah adanya peluahan di udara sekitar awan bermuatan yang medan listriknya cukup tinggi, terbentuk peluahan awal yang biasa disebut *pilot leader*. *Pilot leader* ini menentukan arah perambatan muatan dari awan ke udara diikuti dengan titik-titik cahaya (K.Arrosyada,2013).

Setiap sambaran petir bermula dari suatu lidah petir (*leader*) yang bergerak turun dari awan bermuatan dan disebut *down leader* (lihat pada gambar 2.1.a). *Down leader* ini bergerak menuju bumi dalam bentuk langkah-langkah yang disebut *step leader*. Pergerakan *step leader* ini arahnya selalu berubah-ubah sehingga secara keseluruhan arah jalannya tidak beraturan dan patah-patah. Panjang setiap 50 m (dalam rentang 3-200 m), dengan interval waktu antara setiap step  $\pm 50 \mu\text{s}$  (3-125  $\mu\text{s}$ ). Dari waktu ke waktu, dalam perambatannya ini *step leader* mengalami percabangan sehingga terbentuk lidah petir yang bercabang-cabang (K.Arrosyada,2013).

Ketika *leader* bergerak mendekati bumi, akan ada beda potensial yang makin tinggi antara ujung *step leader* dengan bumi sehingga terbentuk peluahan

mula yang disebut *upward streamer* pada permukaan bumi atau objek akan bergerak ke atas menuju ujung *step leader*. Apabila *upward leader* telah masuk dalam zona jarak sambaran atau *striking distance*, terbentuk petir penghubung (*connecting leader*) yang menghubungkan ujung *step leader* dengan objek yang disambar (gambar 2.1.b). Setelah itu akan timbul sambaran balik (*return stroke*) yang bercahaya sangat terang dari bumi atau objek menuju awan dan melepas muatan di awan (gambar 2.1.c) (K.Arrosyada,2013).



Gambar 2.1 Proses Terjadinya Sambaran Petir.

Jalan yang ditempuh oleh *return stroke* sama dengan jalan turunnya *step leader*, hanya arahnya yang berbeda. Kemudian terjadi sambaran susulan (*subsequeute stroke*) dari awan menuju bumi atau objek tersebut. Sambaran susulan

ini tidak mempunyai percabangan dan biasa disebut sebagai lidah panah atau *dart leader* (gambar 2.1.d). Pergerakan *dart leader* ini sekitar 10 kali lebih cepat dari *leader* yang pertama (sambaran pertama atau *first stroke*) (K.Arrosyada,2013).

Pada umumnya, hampir separuh ( $\pm 55\%$ ) dari peristiwa kilat petir (*lightning flash*) merupakan sambaran ganda seperti tersebut diatas, dengan jumlah sambaran 3 atau 4 sambaran tiap kilat (bisa juga lebih), diantaranya 90% tidak lebih dari 8 sambaran, interval waktu setiap sambaran kurang lebih 50 ms (K.Arrosyada,2013).

## 2.3 Frekuensi Sambaran Petir

### 2.3.1 Sambaran Langsung

Berdasarkan Standar Nasional Indonesia (SNI 03-7015-2004) pemilihan tingkat proteksi yang memadai untuk suatu sistem proteksi petir di dasarkan pada daerah permukaan tanah yang di anggap sebagai struktur yang mempunyai frekuensi sambaran langsung tahunan. Daerah proteksi adalah daerah di sekitar struktur sejauh  $3h$  dimana  $h$  adalah tinggi struktur yang di proteksi.

Untuk keperluan pemasangan proteksi petir dapat dilihat dari perhitungan  $N_d$  dan  $N_c$  Pada Bangunan dan syaratnya adalah:

- a. Jika  $N_d \leq N_c$  tidak perlu sistem proteksi petir.
- b. Jika  $N_d > N_c$  diperlukan sistem proteksi petir dengan efisiensi  $E = 1 - \frac{N_c}{N_d}$

Untuk efisiensi sistem proteksi petir dapat dilihat pada tabel 2.1.

Tabel 2.1 Efisiensi Sistem Proteksi Petir (Badan Standardisasi Nasional, 2004)

Tingkat Proteksi	Efisiensi SPP
I	0,98
II	0,95
III	0,90
IV	0,80

Jumlah rata-rata frekuensi sambaran petir langsung pertahun ( $N_d$ ) dan frekuensi sambaran petir tahunan ( $N_c$ ), untuk  $N_d$  dapat dihitung dengan menggunakan rumus 2.1.

$$N_d = N_g \times A_e \times 10^{-6} \dots\dots\dots (2.1)$$

Kerapatan sambaran petir ke tanah dipengaruhi oleh hari guruh rata-rata per tahun di daerah tersebut. Hal ini ditunjukkan oleh rumus 2.2.

$$N_g = 4 \times 10^{-2} \times T^{1.26} \dots\dots\dots (2.2)$$

Sedangkan besar  $A_e$  dapat dihitung dengan rumus 2.3.

$$A_e = ab + 6 \times h(a + b) + 9 \times \pi \times h^2 \dots\dots\dots (2.3)$$

Sehingga dari substitusi (2.2) dan (2.3) ke (2.1), maka nilai  $N_d$  dapat dicari dengan persamaan 2.4.

$$N_d = 4 \times 10^{-2} \times T^{1.26} \times \{ a \times b + 6 \times h(a+b) + 9 \times \pi \times h^2 \} \dots\dots\dots (2.4)$$

Dimana :

a = panjang gedung (m)

b = lebar gedung (m)

$h$  = tinggi gedung (m)

$T$  = hari guruh per tahun

$N_g$  = kerapatan sambaran petir ke tanah (sambaran/km<sup>2</sup>/tahun)

$A_e$  = area cakupan ekivalen dari bangunan gedung (m<sup>2</sup>)

$N_d$  = jumlah rata-rata frekuensi sambaran petir langsung per tahun  
(sambaran/tahun)

### 2.3.2 Berdasarkan Peraturan Umum Instalasi Penyalur Petir (PUIPP)

Besarnya kebutuhan tersebut ditentukan berdasarkan perjumlahan indeks-indeks tertentu yang mewakili keadaan bangunan di suatu lokasi dan di tuliskan dengan rumus 2.5.

$$R = A + B + C + D + E \dots\dots\dots (2.5)$$

Dimana :

$R$  = perkiraan bahaya petir (nilainya terdapat di tabel 2.17)

$A$  = Penggunaan dan isi Bangunan (nilainya terdapat di tabel 2.2)

$C$  = tinggi bangunan (nilainya terdapat di tabel 2.3)

$D$  = Situasi Bangunan (nilainya terdapat di tabel 2.4)

$E$  = Pengaruh kilat (nilainya terdapat di tabel 2.5)

Tabel 2.2 indeks A : bahaya berdasarkan penggunaan dan isi (PUIPP,1983)

<b>Penggunaan dan isi</b>	<b>Indeks A</b>
Bangunan biasa yang tidak perlu diamankan baik bangunan maupun isinya.	-10
Bangunan dan isinya jarang dipergunakan, misalnya ditengah sawah atau ladang,menara atau tiang dari metal.	0
Bangunan yang berisi peralatan sehari-hari atau tempat tinggal, misalnya rumah tinggal, industri kecil atau stasiun kereta api.	1
Bangunan atau isinya cukup penting, misalnya menara air, toko barang-barang berharga, dan kantor pemerintah.	2
Bangunan yang berisis banyak sekali orang, misalnya bioskop, sarana ibadah, sekolah, dan <i>moment</i> sejarah yang penting.	3
Instalasi gas, minyak atau bensin dan rumah sakit	5
Bangunan yang mudah meledak dan dapat menimbulkan bahaya yang tidak terkendali bagi sekitarnya, misalnya instalasi nuklir	15

Tabel 2.3 indeks B : bahaya berdasarkan penggunaan dan isi (PUIPP,1983)

<b>Kontruksi bangunan</b>	<b>Indeks B</b>
Seluruh bangunan tersebut dari logam dan mudah menyalurkan listrik	0
Bangunan dengan kontruksi beton bertulang atau rangka besi dengan atap logam	1
Bangunan dengan kontruksi beton bertulang atau rangka besi dan atap bukan logam	2
Bangunan kayu dengan atap bukan logam	3

Tabel 2.4 indeks C : bahaya berdasarkan penggunaan dan isi (PUIPP,1983)

<b>Tinggi banugnan sampai dengan ... (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

Tabel 2.5 indeks D : bahaya berdasarkan penggunaan dan isi (PUIPP,1983)

<b>Situasi bangunan</b>	<b>Indeks D</b>
Di tanah datar pada semua ketinggian	0
Di kaki bukit sampai % tinggi bukit atau di pegunungan sampai 1000 meter	1
Di puncak gunung atau pegunungan yang lebih dari 1000 meter	2



Tabel 2.6 indeks E : bahaya berdasarkan penggunaan dan isi (PUIPP,1983)

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

Dengan memperhatikan keadaan ditempat yang hendak dicari tingkat resiko dan kemudian menjumlahkan indeks-indeks tersebut diperoleh suatu perkiraan bahaya ditanggung bangunan dan tingkat pengamanan yang harus diterapkan yang tertera pad tabel 2.7.

Tabel 2.7 indeks R : perkiraan bahaya sambaran petir (PUIPP,1983)

<b>R</b>	<b>Perkiraan bahaya</b>	<b>Pengamanan</b>
Di bawah I 1	Diabaikan	Tidak perlu
Sama dengan I 1 I 2 I 3 I 4	Kecil	Tidak perlu
	Sedang	Dianjurkan
	Agak besar	Dianjurkan
	Besar	Sangat dianjurkan
Lebih dari I 4	Sangat besar	Sangat perlu

### 2.3.3 Berdasarkan Standar NFPA 780

Berbeda sedikit dengan standar PUIPP, dalam standar NFPA penentuan perkiraan bahaya petir dapat dihitung dengan menggunakan perhitungan rumus 2.6.

$$R = \frac{A+B+C+D+E}{F} \dots\dots\dots (2.6)$$

Dimana:

R = perkiraan bahaya petir (nilainya terdapat di tabel 2.14)

A = jenis struktur (nilainya terdapat di tabel 2.8)

B = jenis konstruksi (nilainya terdapat di tabel 2.9)

C = Lokasi bangunan (nilainya terdapat di tabel 2.10)

D = topografi (nilainya terdapat di tabel 2.11)

E = penggunaan dan isi bangunan (nilainya terdapat di tabel 2.12)

F = isokraunik level (nilainya terdapat di tabel 2.13)

Tabel 2.8 indeks A jenis struktur (NFPA 780, 2004)

Jenis struktur	Indeks A
Rumah kediaman yang berkurang 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	3
Melingkupi area kurang dari 2323 m Melingkupi area lebih dari 2323 m	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 central telepon	8
Menara air dan <i>cooling tower</i>	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 olah raga	9
Struktur yang ramping dan tinggi misalnya cerobong asap, menara pengawas dan mercu suar	10
Rumah sakit, penampungan para lansia dan penyandang cacat	10
Bangunan tempat membuat dan menyimpan bahan bahaya misalnya zat kimia	10

Tabel 2.9 indeks B jenis struktur (NFPA 780, 2004)

<b>Kerangka struktur</b>	<b>Jenis atap</b>	<b>Indeks B</b>
Bukan logam	Kayu	5
	Campuran asphalt, ter atau genteng	3
	Logam yang tidak saling terhubung	4
	Logam yang terhubung secara elektrik	1

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

Tabel 2.10 indeks C jenis struktur (NFPA 780, 2004)

Lokasi bangunan	Indeks C
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 diatas permukaan tanah	7
Struktur diperpanjang sampai lebih dari 15,2 m diatas permukaan tanah	10

Tabel 2.11 indeks D jenis struktur (NFPA 780, 2004)

<b>Jenis struktur</b>	<b>Indeks D</b>
Pada tanah datar	1
Pada sisi bukit	2
Diatas puncak bukit	4
Diatas puncak gunung	5

Tabel 2.12 indeks E jenis struktur (NFPA 780, 2004)

<b>Jenis struktur</b>	<b>Indeks E</b>
Bahan yang tidak mudah terbakar	1
Perabotan rumah tangga	2
Perlengkapan atau perabotan biasa	2
Ternak piaraan	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
Beban bersejarah	10
Peledak dan bahan pembuatnya	10

Tabel 2.13 indeks F isokeraunik level (NFPA 780, 2004)

<b>Isokeraunik level</b>	<b>Indeks E</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

Tabel 2.14 perkiraan bahaya sambaran petir (NFPA 780, 2004)

<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

#### 2.3.4 Berdasarkan Standar IEC 1024-1-1

Pemilihan tingkat proteksi yang memandai untuk suatu sistem proteksi petir berdasarkan pada frekuensi sambaran petir langsung setempat ( $N_d$ ) yang diperkirakan ke struktur yang diproteksi dan frekuensi sambaran petir ke tahunan

setempat ( $N_c$ ) yang diperbolehkan. Kerapatan kilat petir ke tanah atau kerapatan sambaran petir ke tanah rata-rata tahunan di daerah tempat suatu struktur berada dinyatakan dengan rumus 2.7.

$$N_g = 0,04.Td^{1,26}/Km^2/tahun..... (2.7)$$

Dimana  $T_d$  adalah jumlah hari guruh rata-rata pertahun di daerah tempat struktur yang akan di proteksi, untu  $T_d$  apat diketahui dnegan rumus 2.8

$$N_d = Ng.Ae.10^{-6}/tahun..... (2.8)$$

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

- a. Jika  $N_d \leq N_c$  tidak perlu sistem proteksi petir
- b. Jika  $N_d > N_c$  diperlukan sistem proteksi petir dengan efisiensinya dapat diketahui dengan rumus 2.9.

$$E = 1 - \frac{N_c}{N_d}..... (2.9)$$

Setelah diketahui tingkat proteksi berdasarkan tabel diatas, maka dapat ditentukan sudut proteksi ( $\alpha^\circ$ ) dari penentuan suatu terminasi udara, radius bola

yang dipakai, maupun ukuran jala (konduktor horizontal) sesuai dengan tabel 2.15 dibawah ini :

Tabel 2.15 penempatan terminasi udara berdasarkan tingkat proteksi 60  
(Badan Standardisasi Nasional, 2004)

<b>Tingkat</b>	<b>H (m)</b>	<b>20</b>	<b>30</b>	<b>45</b>	<b>60</b>	<b>Lebar</b>
<b>Proteksi</b>	<b>R (m)</b>	$\alpha^\circ$	$\alpha^\circ$	$\alpha^\circ$	$\alpha^\circ$	<b>Jala</b>
I	20	25	-	-	-	5
II	30	35	25	-	-	10
III	45	45	35	25	-	15
IV	60	55	45	35	25	20

## 2.4 Elektroda Pembumian

Elektroda bumi adalah penghantar yang ditanam dalam bumi dan membuat kontak langsung dengan bumi. Penghantar bumi yang tidak berisolasi yang ditanam dalam bumi dianggap sebagai bagian dari elektroda bumi.

Sebagai bahan elektroda digunakan tembaga atau baja yang digalvanisasi atau dilapisi tembaga sepanjang kondisi setempat tidak mengharuskan memakai bahan lain.

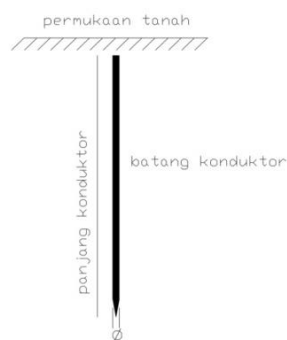
Menurut bentuknya elektroda bumi terdiri dari:

### 2.4.1 Elektroda Batang

Sistem pembumian dengan elektroda batang adalah suatu sistem pembumian dengan menggunakan batang-batang elektroda 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. Untuk elektroda satu batang dapat dilihat pada gambar 2.2



Gambar 2.2 Pbumian Elektroda Batang

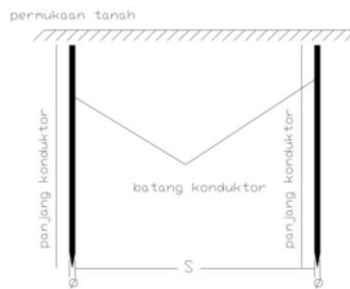
Elektroda batang terbuat dari batang atau pipa logam yang ditanam vertical didalam tanah. Biasanya bahan ini terbuat dari bahan tembaga, *stainless steel* atau *galvanic steel*. Perlu diperhatikan pula dalam pemilihan bahan agar terhindar dari *galvanic couple* yang dapat menyebabkan korosi.

Ukuran elektroda batang terdiri dari diameter  $5/8'' - 3/4''$  dengan panjang 4 kaki – 8 kaki.

Elektroda batang ini mampu menyalurkan arus discharge petir maupun untuk pemakaian pbumian lainnya.

**2.4.2 Elektroda Dua Batang**

Tahanan pembumian dapat diperkecil dengan memperbanyak elektroda yang ditanam dan dihubungkan paralel. Untuk gambarnya dapat dilihat pada gambar 2.3.



Gambar 2.3 Pembumian Dengan Dua Batang Elektroda

**2.4.3 Elektroda Beberapa Batang (*Multiple Rod*)**

Beberapa batang elektroda (*Multiple Rod*) yang ditanam tegak lurus ke dalam tanah yaitu dengan metoda pembumian Bersama, perhitungannya dapat diketahui dengan rumus 2.10

$$R_{tot} = \frac{1}{\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + \frac{1}{R_4} + \frac{1}{R_5} + \frac{1}{R_6}} \dots\dots\dots (2.10)$$

Jika di asumsikan tahanan pembumian pada daerah bangunan adalah sama, maka dapat berlaku persamaan 2.11 berikut ini :

$$R_{tot}(m) = \frac{1}{nx \frac{1}{R_1}} \dots\dots\dots (2.11)$$

Dimana :

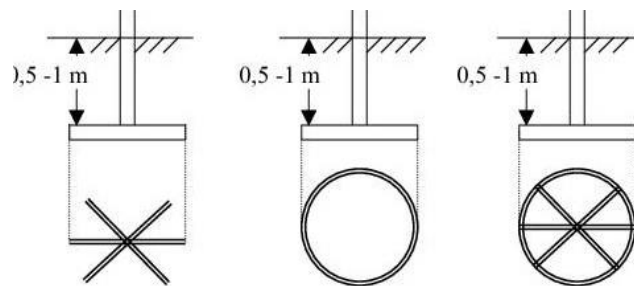
n : jumlah elektroda batang

R : tahanan pembumian sama untuk n buah ( $\Omega$ )

#### 2.4.4 Elektroda Pelat

Bentuk elektroda pelat biasanya berbentuk persegi panjang yang terbuat dari tembaga, timah atau pelat baja yang ditanam didalam tanah. Cara penanaman biasanya secara vertical, sebab dengan menanam secara vertical lebih praktis dan untuk hasilnya pun tidak jauh berbeda dengan penanaman horizontal, untuk perhitungan dari Elektroda ini adalah :

#### 2.4.5 Elektroda Pita



Gambar 2.4 Pembumian Elektroda Pita

Elektroda jenis ini terbuat dari bahan metal berbentuk pita atau juga kawat BCC yang di tanam di dalam tanah secara horizontal sedalam  $\pm 2$  kaki. Elektroda pita ini bisa dipasang pada struktur tanah yang mempunyai tahanan jenis rendah pada permukaan dan pada daerah yang tidak mengalami kekeringan. Hal ini cocok untuk daerah-daerah pegunungan dimana harga tahanan jenis makin tinggi dengan kedalaman. Dan untuk gambarnya dapat dilihat pada gambar 2.4.

Resistansi pembumian suatu elektroda harus dapat diukur. Untuk keperluan tersebut penghantar yang menghubungkan setiap elektroda bumi atau susunan elektroda bumi harus dipasang sambungan yang dapat dilepas untuk keperluan

pengujian resistansi pembumian, pada tempat yang mudah dicapai dan sedapat mungkin memanfaatkan sambungan yang karena susunan instalasinya memang harus ada. Sambungan penghantar bumi dan elektroda bumi harus kuat secara mekanis dan menjamin hubungan listrik yang baik, untuk bahan dan ukuran yang digunakan pada pentanahan suatu sistem dapat dilihat pada tabel 2.16.

Tabel 2.16 Besar dan Ukuran Elektroda Pembumian (PUILL,2011)

No	Bahan Jenis Elektroda	Baja digalvanisasi dengan proses pemanasan	Baja berlapis tembaga	Tembaga
1	Elektroda pita	Pita baja 100 mm <sup>2</sup> setebal minimum 3 mm	50 mm <sup>2</sup>	Pita tembaga 50 mm <sup>2</sup> tebal minimum 2mm
		Penghantar pilin 95 mm <sup>2</sup> (bukan kawat halus)		Penghantar pilin 35 mm (bukan kawat halus)
2	Elektroda batang	Pipa baja 25 mm	Baja berdiameter 15 mm dilapisi tembaga setebal 250 μm	
		Baja profil (mm) L 65 x 65 x 7 U 6,5 T 6 x 50 x 3		
		Batang profil lain yang setaraf		
3	Elektroda pelat	Pelat besi tebal 3 mm luas 0,52 sampai 1 m <sup>2</sup>	Pelat tembaga tebal 2 mm luas 0,5 m <sup>2</sup> sampai 1 m <sup>2</sup>	Elektroda batang

## 2.5 Sistem Proteksi Eksternal

Suatu pengamanan gedung atau objek tinggi lainnya terhadap sambaran petir pada dasarnya adalah penyedia suatu sistem yang direncanakan dan dilaksanakan dengan baik sehingga ketika terjadi sambaran petir maka sarana inilah yang akan menyalurkan arus petir ke tanah dengan aman tanpa ada efek bahaya

bagi bangunan atau objek tersebut dari adanya gangguan internal dalam gedung maupun di area luar atau disekitarnya akibat adanya sambaran petir.

Proteksi eksternal merupakan instalasi dan alat-alat yang dipasang diluar struktur bangunan untuk menangkap dan menghantarkan arus petir ke tanah atau berfungsi sebagai ujung tombak penangkap petir.

Pada dasarnya instalasi penangkal petir adalah instalasi yang dipasang yang berfungsi sebagai salah satu alat pencegah bahaya dari adanya sambaran petir baik bagi manusia, bangunan maupun peralatan yang terpasang didalam bangunan. Ada banyak sistem penangkal petir yang sering digunakan namun pada prinsip kerja dari penangkal petir tersebut adalah sama yaitu :

a. Menangkap Petir

Sistem ini menyediakan sistem penerimaan petir yang dapat dengan cepat menyalurkan arus petir dan mengamankan secara tepat dengan memperhitungkan besaran petir.

b. Menyalurkan Petir

Sambaran petir yang telah diterima oleh penangkap petir akan dialirkan ke tanah secara aman tanpa ada induksi petir ke bangunan atau manusia.

c. Menampung petir

Pada sistem ini menyediakan sebaik mungkin agar arus petir yang telah disalurkan dapat di netralisir oleh tanah tanpa ada efek bahaya pada bangunan maupun makhluk hidup yang berada di sekitar batang *grounding* tersebut.

Apabila merencanakan suatu sistem proteksi eksternal pada bangunan, maka ada beberapa hal yang harus diperhatikan yaitu :

1. Macam, fungsi, bagan dari bangunan, ukuran denah bangunan, bentuk, dan kemiringan atap.
2. Terminasi udara (*air terminal*) dimana jumlahnya haruslah cukup untuk memberikan darah proteksi yang diinginkan.
3. Konduktor penyalur (*down conductor*) haruslah mampu menyalurkan arus petir yang diterima dari terminasi udara bumi.
4. Pembumian (*grounding*) dimana resistansi pembumian  $< 5 \text{ Ohm}$ .

#### **2.5.1 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). Istilah zona proteksi digunakan untuk menyatakan lingkup proteksi penyalur petir, yaitu seberapa banyak suatu daerah yang dapat dicakup oleh penyalur petir sehingga pada daerah tersebut memiliki kemungkinan yang kecil untuk disambar petir. 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 jarijari proteksi; yaitu jarak terjauh dari pusat lingkaran yang masih dapat dilindungi penyalur petir. Daerah lindung atau sudut lindung suatu Terminasi udara (Air Terminal) penyalur petir ditentukan oleh "jarak sambar" suatu sambaran petir yang panjangnya ditentukan oleh tingginya arus petir. [4]

Ada beberapa metode dan teori yang digunakan pada saat ini untuk menentukan penempatan terminasi udara dan untuk mengetahui daerah proteksi. Metode - metode tersebut adalah :

### **1. Metode Sudut Lindung ( *Protective Angle Method* )**

Metode sudut lindung secara geometris mempunyai keterbatasan dan tidak digunakan untuk bangunan gedung yang lebih tinggi dari radius bola bergulir yang ditentukan dalam (tabel 2.16).

Konduktor terminasi sebaiknya ditempatkan sedemikian sehingga semua bagian bangunan gedung yang diproteksi berada disebelah dalam permukaan selubung yang dihasilkan oleh proyeksi titik-titik dari konduktor terminasi udara ke bidang referensi, dengan sudut  $\alpha$  ke garis vertikal dalam semua arah. Dengan sudut  $\alpha$  maka dapat dihitung dengan rumus 2.12

$$\tan \alpha = \frac{r}{h} \dots\dots\dots (2.12)$$

Dimana :

$\alpha$  = sudut area proteksi

$h$  = tinggi dari titik konduktor petir

$r$  = jari-jari lingkaran yang terlindungi

setelah mendapatkan nilai dari sudut proteksi maka dapat dicari luas daerah proteksi dengan rumus 2.13.

$$R = \pi xr^2 \dots\dots\dots (2.13)$$

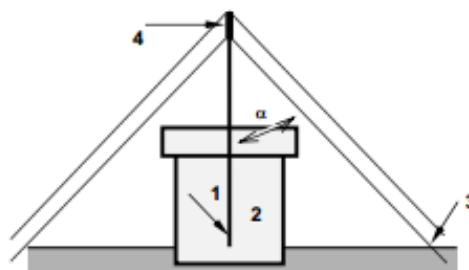
Dimana :

$\pi$  = 3,14

$r$  = jari-jari lingkaran yang terlindungi

$h$  = tinggi bangunan

Daerah yang dilindungi adalah daerah yang berada di dalam kerucut dengan sudut lindung sesuai dengan gambar 2.5.



Gambar 2.5 Metode Sudut Lindung ( *protective angle method* )



Catatan :

1. Tiang terminasi udara
2. Bangunan gedung yang diproteksi
3. Kawat terminasi udara horizontal
4. Sudut proteksi

## 2. Metode bola bergulir ( *rolling sphere method* )

Metode bola bergulir baik di gunakan pada bangunan yang bentuknya rumit. Seperti yang di gambarkan pada gambar 2.6, 2.7 dan 2.8. Dengan metode ini seolah-olah ada suatu bola dengan radius R yang bergulir di atas tanah, sekeliling struktur dan diatas struktur kesegala arah hingga bertemu dengan tanah atau struktur yang berhubungan dengan permukaan bumi yang mampu bekerja sebagai penghantar. Titik sentuh bola bergulir pada struktur adalah titik yang dapat disambar petir dan pada titik tersebut harus diproteksi oleh konduktor terminasi udara. Semua petir yang berjarak R dari ujung penangkal petir akan mempunyai kesempatan yang sama untuk menyambar bangunan. Besarnya R berhubungan dengan besar arus petir dan dinyatakan dengan rumus 2.14.

$$R = I^{0,75} \dots\dots\dots (2.14)$$

Bila ada arus petir yang lebih kecil dari I tersebut mengenai bangunan, bangunan masih bisa di tahan. Bila arus petir lebih besar dari I tersebut, akan di tangkap oleh penangkal petir. Dan sudut lindung juga dapat didekati dengan persamaan Hasse dan Wiesinger yaitu tertulis di rumus 2.15.

$$\alpha = \sin^{-1} \left( 1 - \frac{h}{r} \right) \dots \dots \dots (2.15)$$

Dimana :

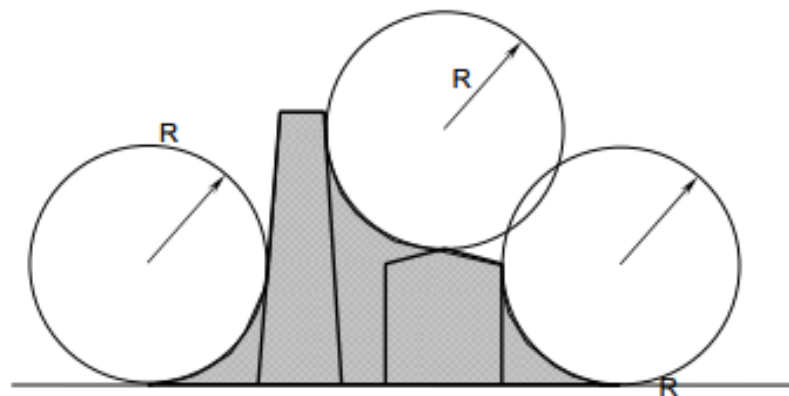
$\alpha$  = sudut area proteksi

$h$  = tinggi dari titik konduktor petir

$r$  = jari-jari lingkaran yang terlindungi

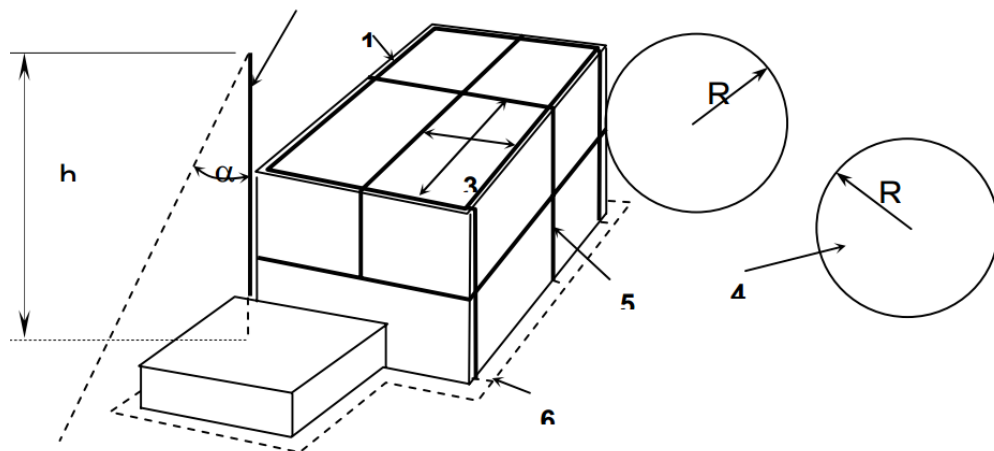
jumlah penyalur petir dapat dicari dengan rumus 2.16:

$$n = \frac{\text{luas area}}{\text{luas daerah proteksi}} \dots \dots \dots (2.16)$$



Gambar 2.6 Metoda Bola Bergulir (*rolling sphere method*)

Konduktor terminasi udara SPP dipasang pada semua titik dan elemen yang disentuh oleh bola bergulir, dengan radius yang sesuai tingkat proteksi yang dipilih.



Gambar 2.7 Perancangan terminasi udara SPP menurut metoda bola bergulir dan susunan umum elemen terminasi udara

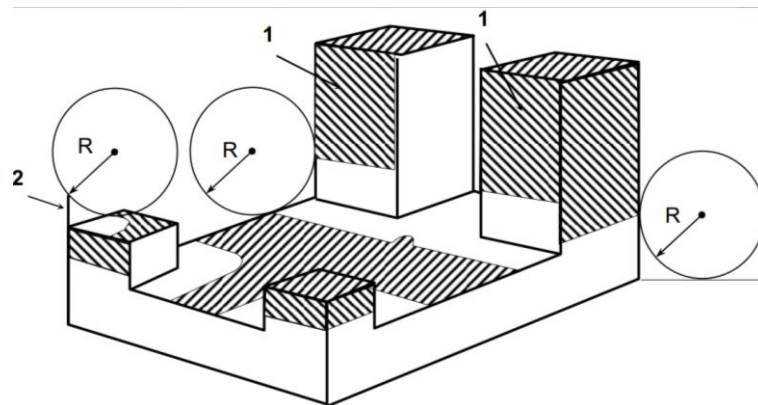
Keterangan :

1. Kawat penangkap
2. Batang penangkap
3. Ukuran jala
4. Bola gulir
5. Konduktor penyalur
6. Elektroda bumi

$h$  = tinggi terminasi udara di atas tanah

$\alpha$  = sudut proteksi

$R$  = radius bola bergulir menurut tabel 2.2



Gambar 2.8 Perancangan jaringan konduktor terminasi udara SPP pada bangunan gedung dengan bentuk rumit.

Keterangan :

1. Luasan diarsir , diperlihatkan sebagai luasan penangkapan petir dan memerlukan proteksi menurut tabel 2.3
2. Tiang diatas bangunan gedung

Metode bola bergulir mempunyai beberapa parameter, yaitu Jarak Sambar, Distribusi Arus Puncak, Sudut Lindung dan Daerah Lindung.

## 2.6 Besarnya Kebutuhan Bangunan Akan Sistem Proteksi Petir

Kebutuhan bangunan akan proteksi petir ditentukan dengan cara klasifikasi area tempat bangunan atau dengan perhitungan menggunakan parameter hari guruh dimana gedung itu berada dan koefisiensi-koefesiensi lain yang diperlukan tergantung dari standar yang dipilih atau digunakan.

Suatau instalasi proteksi petir harus dapat melindungi semua bagian dari suatu bangunan, termasuk manusia dan peralatan yang ada didalamnya terhadap bahaya dan kerusakan akibat sambaran petir. Besarnya kebutuhan suatu bangunan akan instalasi penangkal petir, ditentuan oleh besarnya kemungkinan kerusakan

serta bahaya yang ditimbulkan bila bangunan tersebut tersambar petir. Besarnya kebutuhan itu dapat diperhitungkan secara empiris berdasarkan indeks-indeks yang menyatakan faktor-faktor tertentu seperti diperlihatkan pada tabel di bawah ini. Dari Penjumlahan indeks-indeks ini akan diperoleh nilai perkiraan bahaya akibat sambaran petir. Untuk tabel perkiraan bahaya petir menurut standar PUIPP dapat diketahui dalam tabel 2.18.

Tabel 2.17 Indeks F – Perkiraan Bahaya (PUIPP,1983)

<b>R=A+B+C+D+E</b>	<b>Perkiraan Bahaya</b>	<b>Instalasi Petir</b>
< 11	Diabaikan	Tidak Perlu
11	Kecil	Tidak Perlu
12	Sedang	Agak Dianjurkan
13	Agak Besar	Dianjurkan
14	Besar	Sangat Dianjurkan
> 14	Sangat Besar	Sangat Perlu

Indeks-indeks yang menyatakan faktor-faktor tertentu merupakan dari indeks-indeks yang dipilih dari tabel-tabel sebelumnya dimana hasil penjumlahan tersebut (R) merupakan indeks perkiraan bahaya akibat sambaran petir, dimana semakin besar nilai R maka semakin besar pula bahaya serta kerusakan yang di timbulkan dari sambaran petir.