

BAB II

SISTEM PENTANAHAN PENANGKAL PETIR

2.1. Petir

Petir terjadi karena adanya lompatan elektron-elektron dari awan bermuatan negatif ke bumi yang bermuatan positif. Menurut Prof. Dr. Dipl. Ing. Ir. Reynaldo zoro (Guru Besar ITB), ada tiga syarat yang harus terpenuhi sehingga petir dapat terjadi. Pertama adanya panas matahari yang menguapkan air, kedua terdapat partikel mengambang di udara yang biasanya dari garam laut atau polutan industri, dan ketiga kelembapan suatu daerah. Di dalam awan tersebut, terdapat partikel bermuatan positif (+) dan negatif (-). Partikel yang positif tersebut berkumpul di atas, dan negatif berkumpul di bawah. Kemudian saling bergesekan, sehingga jika energinya cukup maka akan dilepaskan dalam bentuk petir.^[2]



Gambar 2.1. Petir^[2]

Menurut Brian Williams, petir adalah bunga api listrik berukuran sangat besar yang menyambar dari awan petir dan berpercikan di angkasa. Bunga api listrik tersebut terjadi akibat peristiwa pelepasan muatan listrik atau biasa disebut *partial discharge* pada awan ataupun bumi akibat kegagalan dielektrik pada lapisan udara.^[8]

Dapat disimpulkan bahwa petir merupakan kilatan cahaya raksasa yang dihasilkan oleh pelepasan jutaan energi listrik yang biasa terjadi saat hujan badai. Sambaaran petir dapat terjadi antara awan, antara awan dengan udara dan antara awan dengan permukaan tanah.

2.2. Jenis Sambaran Petir

Berdasarkan letak objek dan jaraknya dari titik sambaran, sambaran petir dibedakan menjadi dua jenis yaitu sambaran petir langsung dan sambaran petir tidak langsung.

2.2.1. Sambaran Petir Langsung

Sambaran petir langsung merupakan sambaran yang langsung menyambar pada gedung yang terproteksi, hal ini terjadi karena arus impuls yang mengalir ke tanah., misalnya sambaran pada hantaran udara tegangan rendah atau sambaran pada pipa metal, kabel, dan lain-lain. Pada jenis sambaran ini, instalasi tegangan lebih akan di aliri oleh seluruh atau sebagian arus petir.^[1]

2.2.2. Sambaran Tidak Langsung

Sambaran petir tidak langsung merupakan sambaran yang menyambar hantaran udara atau induksi dari pelepasan muatan petir awan-awan atau pelepasan energi dari gelombang elektromagnetiknya atau *lightning elektromagnetic pulse*, sehingga menimbulkan gelombang yang berjalan menuju ke peralatan listrik atau elektronik. Pada jenis sambaran ini, peralatan proteksi tegangan lebih akan dialiri oleh sebagian kecil arus petir atau arus induksi.^[1]

2.3. Bahaya Akibat 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 berkisar antara 2000 A sampai 200 KA. Bahaya akibat sambaran petir diantaranya, sambaran petir langsung melalui bangunan, sambaran petir melalui jaringan listrik dan sebagainya.^[1]

2.3.1. Sambaran Petir Melalui Bangunan

Sambaran petir yang langsung mengenai struktur bangunan rumah, kantor dan gedung, tentu saja hal ini sangat membahayakan bangunan tersebut beserta seluruh isinya karena dapat menimbulkan kebakaran, kerusakan perangkat elektronik atau bahkan korban jiwa. Maka dari itu setiap bangunan diwajibkan memasang instalasi penangkal petir.

2.3.2. Sambaran Petir Melalui Jaringan Listrik

Bahaya sambaran ini sering terjadi, petir menyambar dan mengenai sesuatu di luar area bangunan tetapi berdampak pada jaringan listrik di dalam bangunan tersebut, hal ini karena sistem jaringan distribusi listrik atau PLN memakai kabel udara terbuka dan letaknya sama tinggi, bilamana ada petir yang menyambar pada kabel terbuka ini maka arus petir akan tersalurkan ke pemakai langsung. Cara penanganannya adalah dengan cara memasang perangkat arrester sebagai pengaman tegangan lebih atau *over voltage*. Instalasi *surge arrester* listrik ini dipasang harus dilengkapi dengan *sistem pentanahan*.

2.4. Frekuensi Sambaran Petir

Pemilihan tingkat proteksi yang memadai untuk suatu sistem proteksi didasari pada frekuensi sambaran petir langsung ke tempat yang diperkirakan ke struktur yang di proteksi (N_d) dan frekuensi sambaran petir tahunan setempat yang diperbolehkan (N_c).^[6]

Kerapatan kilat petir ke tanah atau kerapatan sambaran petir ke tanah rata-rata tahunan di daerah tempat bangunan berada dapat dihitung dengan persamaan berikut:^[6]

$$N_d = N_g \cdot A_e \dots \dots \dots (2.1)$$

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

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

Sedangkan besar A_e dapat dihitung dengan persamaan berikut:

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

A_e adalah area cakupan dari struktur (m^2), yaitu daerah permukaan tanah yang dianggap sebagai struktur yang mempunyai frekuensi sambaran petir langsung tahunan.

Dimana:

N_d = Jumlah rata-rata frekuensi sambaran petir langsung

N_g = Kerapatan sambaran petir ke tanah (Km^2 /tahun)

A_e = Luas daerah yang memiliki angka sambaran petir sebesar N_d (Km^2)

N_c = Ketetapan (10^{-1})

Maka, dari ketiga persamaan diatas, Nilai N_d dapat dicari dengan persamaan berikut:^[6]

$$N_d = 4.10^{-2} \cdot T^{1.26} (ab + 6h(a + b) + 9\pi h^2) \dots \dots \dots (2.4)$$

Dimana :

a = Panjang atap gedung (m)

T_d = Hari guruh pertahun

b = Lebar atap gedung (m)

h = Tinggi atap gedung (m)

2.5. Peraturan Umum Instalasi Penangkal Petir (PUIPP)

Berdasarkan PUIPP, jenis bangunan yang perlu diberi penangkal petir dikelompokkan menjadi:

- Bangunan tinggi, seperti gedung bertingkat, menara dan cerobong pabrik
- Bangunan penyimpan bahan mudah meledak atau terbakar, misalnya pabrik amunisi, gudang bahan kimia
- Bangunan untuk kepentingan umum, seperti gedung sekolah, stasiun, bandara, dan sebagainya
- Bangunan yang mempunyai empat fungsi khusus dan nilai estetika, misalnya museum, gedung arsip Negara.

Besarnya kebutuhan suatu bangunan instalasi proteksi petir ditentukan oleh besarnya kemungkinan kerusakan serta bahaya yang terjadi jika bangunan tersebut tersambar petir. Besarnya kebutuhan tersebut ditentukan berdasarkan penjumlahan indeks-indeks tertentu yang mewalili keadaan bangunan disuatu lokasi dan dituliskan sebagai berikut:^[3]

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

Dimana:

R = Perkiraan Bahaya Petir

C = Tinggi Bangunan

A = Penggunaan dan Isi Bangunan

D = Situasi Bangunan

B = Konstruksi Bangunan

E = Pengaruh Kilat

Dibawah ini merupakan nilai-nilai indeks pada persamaan tersebut yang dapat dilihat pada tabel yang bersumber dari PUIPP sebagai berikut:

Tabel 2.1. Indeks A : Bahaya Berdasarkan Penggunaan dan Isi^[3]

Penggunaan dan isi	Indeks A
Bangunan biasa yang tidak perlu diamankan baik bangunan maupun isinya.	-10
Bangunan dan isinya jarang dipergunakan, misalnya 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 atau stasiun kereta api.	1
Bangunan atau isinya cukup penting, misalnya menara air, took barang-barang berharga, dan kantor pemerintah.	2
Bangunan yang berisi banyak sekali orang, misalnya bioskop, sarana ibadah, sekolah, dan monument 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

Dibawah ini merupakan nilai indeks B tentang bahaya berdasarkan konstruksi bangunan sebagai berikut:

Tabel 2.2. Indeks B : Bahaya Berdasarkan Konstruksi Bangunan^[3]

Konstruksi bangunan	Indeks 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

Dibawah ini merupakan nilai indeks C tentang bahaya berdasarkan tinggi bangunan sebagai berikut:

Tabel 2.3. Indeks C : Bahaya Berdasarkan Tinggi Bangunan^[3]

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

Dibawah ini merupakan nilai indeks D tentang bahaya berdasarkan situasi bangunan sebagai berikut:

Tabel 2.4. Indeks D : Bahaya Berdasarkan Situasi Bangunan^[3]

Situasi bangunan	Indeks D
Di tanah datar pada semua ketinggian	0
Di kaki bukit sampai % tinggi bukit atau di pegunungan sampai 1000 meter.	I
Di puncak gunung atau pegunungan yang lebih dari 1000 meter.	2

Dibawah ini merupakan nilai indeks E tentang bahaya berdasarkan pengaruh kilat sebagai berikut:

Tabel 2.5. Indeks E : Berdasarkan Pengaruh Kilat^[3]

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

Dengan mengamati keadaan dilokasi untuk mencari tingkat resikonya, lalu menjumlahkan indeks-indeks tersebut maka akan memperoleh suatu perkiraan bahaya yang ditanggung bangunan dan tingkat proteksi yang harus di pasang.

Dibawah ini merupakan tabel perkiraan sambaran petir berdasarkan Peraturan Umum Instalasi Penangkal Petir sebagai berikut:

Tabel 2.6. Perkiraan Sambaran Petir^[3]

R		Perkiraan bahaya	Pengamanan
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

2.6. Standar Nasional Indonesia

Pemilihan tingkat proteksi suatu sistem proteksi didasari pada frekuensi sambaran petir langsung ke tempat yang diperkirakan ke struktur yang di proteksi (Nd) dan frekuensi sambaran petir tahunan setempat yang diperbolehkan (Nc).

Pengambilan keputusan perlu atau tidaknya pemasangan sistem proteksi petir pada bangunan mengacu dari dua kondisi, yaitu:

Jika $N_d \leq N_c$, maka bangunan tidak memerlukan sistem penangkal petir.

Jika $N_d > N_c$, maka diperlukan sistem penangkal petir.

Apabila hasil perbandingan menunjukkan bahwa bangunan memerlukan proteksi petir, maka langkah selanjutnya adalah menghitung efisiensi sistem penangkal petir (Ec) dengan persamaan:^[6]

$$E \geq 1 - \frac{N_c}{N_d} \dots\dots\dots(2.6)$$

Tabel 2.7. Efisiensi Sistem Proteksi Petir Sehubungan dengan tingkat proteksi^[6]

Tingkat Proteksi	Efisiensi Sistem penangkal petir (E)
I	0,98
II	0,95
III	0,90
IV	0,80

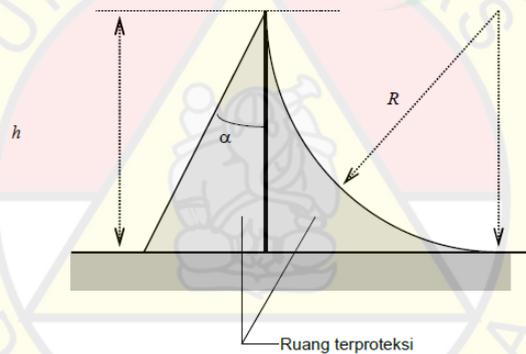
Bila nilai E dari tabel di atas lebih besar atau sama dengan nilai Ec hasil perhitungan, maka nilai yang paling mendekati nilai E di atas menentukan level proteksi bangunan tersebut. Jika nilai $E \leq E_c$, maka sistem proteksi harus dilengkapi dengan sistem proteksi tambahan dengan menentukan level proteksi.

Tingkatan proteksi memiliki keterkaitan dengan nilai parameter petir, seperti pada tabel berikut ini:

Tabel 2.8. Kaitan parameter arus dengan tingkat proteksi^[6]

Parameter Petir		Tingkat Proteksi		
		I	II	III – IV
Nilai arus puncak	I (kA)	200	150	100
Muatan total	Q_{total} (C)	300	225	150
Muatan impuls	Q_{impuls} (C)	100	75	50
Energi spesifik	W/R (kJ/ Ω)	10.000	5.600	2.500
Kecuraman rata-rata	$di/dt_{30/90\%}$ (kA/ μs)	200	150	100

Dapat diketahui ketentuan penempatan terminasi udara yang dapat diketahui dan dapat dilihat sebagai berikut:



Gambar 2.2. Penempatan Terminasi Udara^[6]

Dibawah ini merupakan tabel penempatan terminasi udara dengan tingkat proteksi sebagai berikut:

Tabel 2.9. Penempatan terminasi udara sesuai dengan tingkat proteksi^[6]

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

2.7. Instalasi Penangkal Petir

Menurut Peraturan Umum Instalasi Penangkal Petir (1983:2), Instalasi penangkal petir adalah instalasi suatu sistem dengan komponen-komponen dan peralatan-peralatan yang secara keseluruhan berfungsi untuk menangkap petir, menyalurkan ke tanah. Sistem tersebut dipasang sedemikian rupa sehingga semua bagian dari bangunan beserta isinya, atau benda-benda yang dilindunginya terhindar dari bahaya sambaran petir baik secara langsung maupun tidak langsung. Sistem penangkal petir eksternal adalah berfungsi untuk memberikan perlindungan dari sambaran petir secara langsung. Saat muatan listrik negatif di bagian bawah awan sudah tercukupi, maka muatan positif di tanah akan tertarik. Muatan listrik kemudian segera merambat naik melalui kabel konduktor menuju ke batang penangkal petir. Pertemuan kedua muatan menghasilkan aliran listrik, yang kemudian aliran listrik itu akan mengalir ke dalam tanah melalui kabel konduktor penangkal petir dengan demikian sambaran petir tidak mengenai bangunan yang terpasang penangkal petir.

Sistem penangkal petir yang dikenal terdapat bermacam-macam, namun pada dasarnya memiliki prinsip kerja utama yang sama pada setiap sistem-sistem proteksinya, yaitu:^[3]

1. Menangkap petir

Sistem penangkal petir menyediakan sistem penerimaan sambaran petir yang dapat menyambut sambaran petir lebih cepat dari area di sekelilingnya, serta dapat memproteksi secara tepat dengan memperhitungkan besar sambaran petir.

2. Menyalurkan petir

Sambaran petir yang telah ditangkap selanjutnya dialirkan menuju tanah secara aman tanpa mengakibatkan bahaya terhadap bangunan ataupun manusia.

3. Menampung petir

Arus petir yang dialirkan pada sistem pentanahan yang baik sehingga tidak menimbulkan bahaya pada bangunan ataupun manusia. Instalasi sistem penangkal petir eksternal sederhana meliputi terminal udara, penghantar turun (*down conductor*), dan sistem pentanahan (*grounding*) yang tersambung menjadi satu kesatuan sistem penangkal petir.

2.8. Jenis-Jenis Penangkal Petir

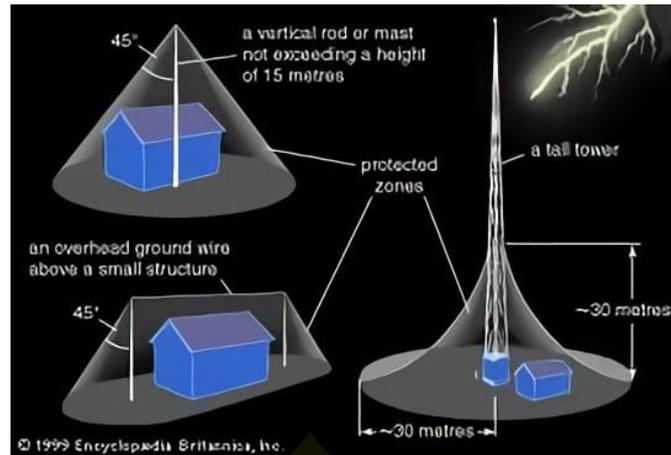
Jenis penangkal petir memiliki dua, yaitu penangkal petir pasif dan penangkal petir aktif.^[2]

1. Penangkal Petir Pasif

Penangkal petir pasif menggunakan batang konvensional pada terminal udaranya. Batang konvensional adalah batang tembaga konvensional yang ujungnya runcing. Batang konvensional ini dibuat runcing karena muatan listrik mempunyai sifat mudah berkumpul dan lepas pada ujung logam yang runcing tersebut. Sehingga dapat memperlancar proses tarik menarik dengan muatan listrik yang ada di awan. Batang runcing konvensional ini dipasang pada bagian puncak suatu bangunan atau gedung.

a. Sistem Franklin Rod

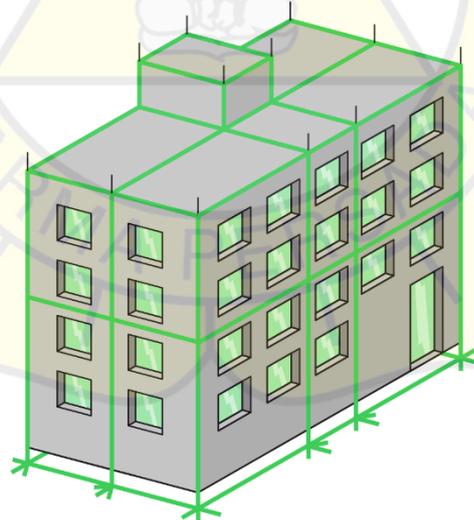
Pengamanan bangunan terhadap sambaran kilat dengan menggunakan sistem penangkal petir Franklin merupakan cara yang tertua namun masih sering digunakan karena hasilnya dianggap cukup memuaskan, terutama untuk bangunan-bangunan dengan bentuk tertentu, seperti misalnya : menara, gereja dan bangunan-bangunan lain yang beratap runcing. Tongkat franklin, alat ini berupa kerucut tembaga dengan daerah perlindungan berupa kerucut imajiner dengan sudut puncak 112° . 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. *Franklin Rod* dapat dilihat berupa tiang-tiang di bubungan atap bangunan. Sistem yang digunakan untuk mengetahui area proteksi dari penyalur petir ini adalah dengan menggunakan sistem proteksi kerucut.



Gambar 2.3. Sistem Franklin Rod^[15]

b. Sistem Sangkar Faraday

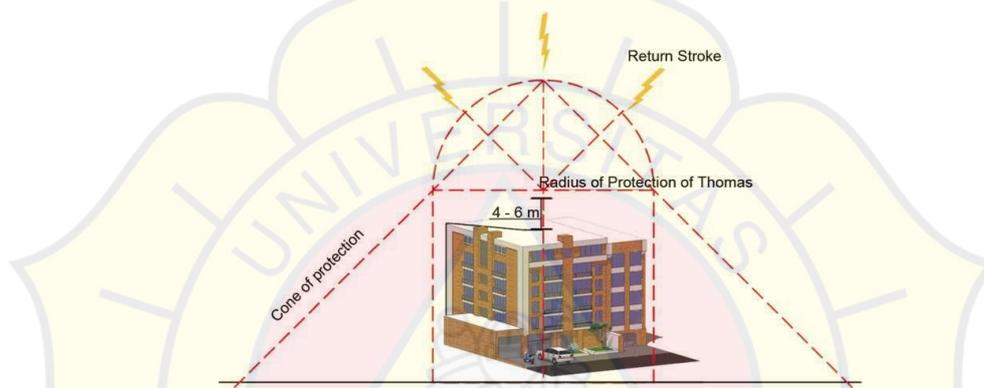
Untuk mengatasi kelemahan tongkat franklin, maka dibuat penangkal petir sistem faraday. Penangkal sistem faraday memiliki sistem seperti franklin rod, namun pemasangannya di seluruh permukaan atap bangunan dengan tinggi yang lebih rendah. Pada sistem penangkal petir ini menjadi lebih efektif untuk menjangkau titik yang tidak dapat dijangkau dari sistem franklin rod yang memiliki keterbatasan.



Gambar 2.4. Sistem Faraday^[15]

c. Non Konvensional (*Early Streamer Emission*)

Penangkal jenis ini merupakan sistem baru yang dikembangkan untuk menarik petir dengan jangkauan yang luas, sehingga radius perlindungan akan menjadi lebih luas. Sistem penangkal petir elektostatis ini lebih ramah lingkungan karena menggunakan teknologi *Early Streamer Emissions*. Sistem proteksi petir *Early Streamer Emission* adalah pendekatan relative terbaru dalam penyelesaian masalah kerusakan instalasi petir. Sangat dianjurkan untuk memberikan perlindungan area dengan jangkauan yang lebih luas, sehingga dapat menjangkau bagian-bagian terjauh dari area atau bangunan yang ada.



Gambar 2.5. Sistem Non Konvensional^[15]

2. Penangkal Petir Aktif

Penangkal petir aktif adalah penangkal petir dimana terminal udara tidak hanya menunggu datangnya petir, namun dengan sistem, bentuknya dan bahan-bahan yang sedemikian pada terminal udara, sehingga membuatnya dapat menarik petir menuju terminal udara yang selanjutnya diteruskan ke sistem instalasi penangkal petir.

a. Ionisasi Corona

Sistem ini menarik petir untuk menyambar ke ujung penyalur petir dengan cara memancarkan ion-ion ke udara. Pemancaran ion ini dapat dilakukan dengan menggunakan generator atau baterai cadangan atau secara alami. Area perlindungan sistem ini berupa bola dengan radius mencapai 120 meter dan radius ini akan mengecil dengan sejalan bertambahnya umur. Sistem ini dapat dikenali dengan kepalanya yang dikelilingi 3 bilah pembangkit beda tegangan dan dipasang pada tiang tinggi.

a. Radioaktif

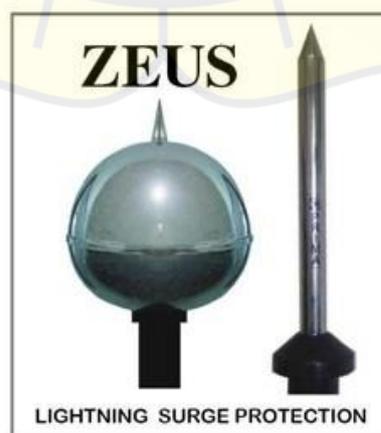
Sistem ini merupakan sistem penarik petir terbaik, akan tetapi penggunaannya sudah dilarang, karena radiasi yang dipancarkannya dapat mengganggu kesehatan manusia. Sistem ini akan berkurang radius pengamanannya sejalan dengan waktu sesuai dengan sifat radioaktif.

2.9. Sistem Penangkal Petir Eksternal

Sistem penangkal petir eksternal menghindari bahaya langsung suatu sambaran petir pada instalasi-instalasi, peralatan-peralatan yang terpasang di luar gedung atau bangunan, di menara dan bagian-bagian luar bangunan serta memberikan perlindungan terhadap manusia diluar bangunan. Sistem penangkal petir eksternal pada dasarnya terdiri dari:

2.9.1. Terminasi Udara (*Air Termination*)

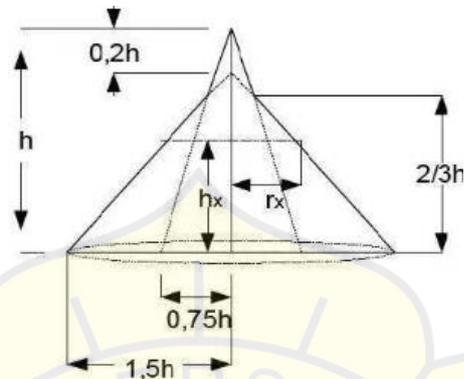
Terminasi udara merupakan bagian sistem proteksi petir yang dikhususkan untuk menangkap sambaran petir. Penangkal petir ditempatkan sedemikian rupa sehingga mampu menangkap semua petir yang menyambar tanpa mengenai bagian gedung, bangunan atau daerah yang dilindungi. Penangkal petir biasanya dibuat meruncing ujungnya karena muatan listrik mempunyai sifat mudah terkumpul. Jenis bahan yang biasanya digunakan adalah elektroda logam dipasang secara vertikal maupun horizontal yang terpasang dititik tertinggi didaerah yang dilindungi. Hal tersebut bertujuan agar penangkal petir dapat menangkap atau menyerap semua petir yang menyambar tanpa mengenai apapun didalam zona proteksi dari terminal udara tersebut.



Gambar 2.6. Terminasi Udara (*Air Termination*)^[15]

Ada beberapa metode dan teori yang digunakan untuk menentukan penempatan terminasi udara dan untuk mengetahui daerah proteksi. Metode – metode tersebut antara lain:^[9]

a. Metode Zona Proteksi Razevig



Gambar 2.7 Zona Proteksi Razevig^[9]

Zona proteksi razevig dapat dinyatakan dengan persamaan berikut dibawah ini:^[9]

$$A_x = \pi \times r^2 \dots\dots\dots(2.7)$$

Dimana:

A_x : Luas daerah proteksi (m^2)

r^2 : Tinggi maksimum objek yang diproteksi (m)

π : Nilai konstanta

Dari persamaan diatas, menurut Razevig radius proteksi dapat berubah-ubah mengikuti perubahan tinggi objek yang diproteksi.

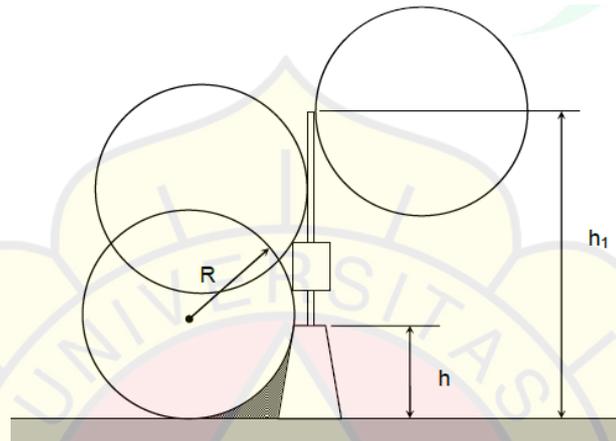
b. Metode Bola Bergulir

Metode bola bergulir baik digunakan pada bangunan yang bentuknya rumit. Prinsip dari metode ini adalah dengan meletakkan suatu bola dengan radius tertentu yang bergulir diatas tanah, disekeliling struktur objek, diatas struktur objek menuju ke kesegala arah hingga bertemu dengan permukaan tanah. Titik sentuh bola bergulir pada struktur merupakan titik yang harus diproteksi oleh konduktor terminasi udara. Semua petir yang berjarak R dari ujung penangkap petir akan mempunyai kesempatan yang sama untuk menyambar bangunan.

Besarnya R berhubungan dengan besar arus petir yang dinyatakan dalam persamaan berikut:^[6]

$$R \text{ (m)} = I^{0,75} \dots\dots\dots(2.8)$$

Bila ada arus petir yang lebih kecil dari nilai I tersebut mengenai bangunan, bangunan masih bisa tahan. Tetapi bila arus petir lebih besar dari arus tersebut, akan ditangkap oleh penangkap petir.



Gambar 2.8 Metode Bola Bergulir^[6]

Metode bola bergulir mempunyai beberapa parameter diantaranya sebagai berikut:

a. Jarak Sambar

Jarak sambar adalah jarak antara ujung lidah petir yang bergerak kebawah bertemu dengan petir penghubung yang bergerak keatas pada satu titik dan titik itu dinamakan titik sambar. Secara empiris jarak sambar merupakan fungsi dari arus puncak petir, dan sebagian peneliti juga menurunkan bahwa jarak sambar juga adalah fungsi tinggi stuktur.

b. Distribusi Arus Puncak

Arus puncak yang digunakan untuk menentukan jarak sambar ditentukan dari tingkat proteksi yang diinginkan. Untuk keperluan engineering diperlukan arus puncak dengan statistik 50%. Misalkan arus puncak 40 kA dengan statistic 50% maka sistem proteksi melindungi 50% petir dengan arus >40 kA, sedangkan 50% sisanya(<40 kA) tidak terproteksi. Statistik lain yang biasanya digunakan adalah 85%, 93%, 95% dan 99%.

c. Sudut Lindung

Sudut lindung adalah sudut diantara garis singgung bola gelinding yang mengenai terminasi udara dengan permukaan tanah. Sudut lindung juga dapat didekati dengan persamaan Hasse dan Wiesinger sebagai berikut:^[6]

$$\alpha^{\circ} = \sin^{-1} \left\{ 1 - \left(\frac{h}{r} \right) \right\} \dots\dots\dots(2.9)$$

Untuk $h < rs$

Dimana :

h = Tinggi batang tegak penangkal petir dari permukaan tanah (m)

r = Jarak sambar (m)

α° = Sudut lindung (derajat)

Sedangkan sudut lindung dua buah batang tegak yang terpisah jarak S didapatkan dengan :

$$\alpha^{\circ} = \cos^{-1} \left\{ 1 - \left(\frac{S}{2r} \right) \right\} \dots\dots\dots(2.10)$$

Untuk $S < 2r$

Dimana :

α° = sudut lindung (derajat)

h = Tinggi struktur (m)

r = Jarak sambar (m)

S = Jarak antara dua buah batang tegak (m)

d. Daerah Lindung

Daerah lindung adalah area yang terlindungi oleh penyalur petir dari sambaran petir.

2.9.1.1. Zeus Lightning Protection System

Zeus Lightning Protection System merupakan salah satu metode terminasi udara penyalur petir non-conventional (modern). System penyalur petir ini terbagi dalam 2 bagian, yaitu terminasi udara yang diletakan di puncak bangunan sebagai penangkap petir dan kabel penghantar sebagi konduktor penyalur arus yang masuk ke tanah. Jenis air terminal penangkal petir yang digunakan, yaitu Zeus PG120 yang mampu memproteksi bangunan atau wilayah beserta isinya terhadap bahayanya sambaran arus petir langsung (*direct strike*) dan sambaran tidak langsung.

Tabel 2.10. Radius Proteksi *Zeus Lightning Protection System*

Tinggi bangunan (m)	Radius proteksi (m)
5	80
10	90
20	100
30	120

Dibawah ini merupakan tabel syarat minimum material konduktor pada terminal udara berdasarkan SNI 03-7015-2004 sebagai berikut:

Tabel 2.11. Dimensi minimum bahan sistem proteksi petir

Tingkat Proteksi Petir	Bahan	Terminasi Udara (mm^2)
I Sampai IV	Cu	35
	Al	70
	Fe	50

2.9.2. Konduktor Penyalur Petir (*Down Conductor*)

Konduktor penyalur petir berfungsi untuk menyalurkan arus petir yang mengenai terminasi udara (*air termination*) yang kemudian akan diteruskan ke pentanahan atau pembumian. 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.

**Gambar 2.9** Kabel konduktor penyalur petir^[7]

Dibawah ini merupakan jenis-jenis bahan konduktor penyalur petir yang biasa digunakan sebagai berikut:

1. Kawat Tembaga/ Kabel BC (*Bare Cooper Cable*).
2. Kabel Coaxial.
3. Aluminium/ Kabel AAC (*All Aluminium Cable*).
4. Campuran Aluminium dan Baja.
5. Kawat baja, dipakai pada kawat petir dan pentanahan.

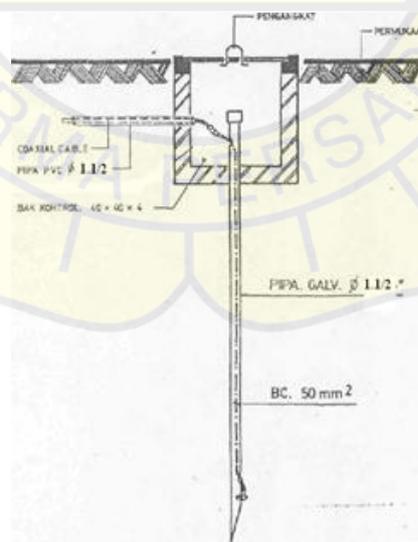
Dibawah ini merupakan dimensi minimum konduktor penyalur petir sebagai berikut:

Tabel 2.12. Dimensi minimum konduktor penyalur petir^[6]

Tingkat Proteksi Petir	Bahan	Luas Penampang (mm^2)
I Sampai IV	Cu	16
	Al	25
	Fe	50

2.9.3. Pentanahan

Bagian utama lainnya dari instalasi penangkal petir adalah bagian pentanahan atau pembedahan. Arus yang diterima oleh terminal udara (*air termination*) pada saat petir menyambar kemudian disalurkan oleh panyalur petir menuju ke pentanahan. Sistem pertanahan dirancang sedemikian rupa untuk mendapatkan nilai tahanan sekecil mungkin agar tidak terjadi tegangan jatuh ketika dialiri arus arus petir yang muatannya besar.



Gambar 2.10 Elektrode Penyalur Petir^[7]

Dibawah ini merupakan nilai resistansi jenis tanah berdasarkan PUIL 2000 sebagai berikut:

Tabel 2.13. Nilai resistansi jenis tanah^[4]

Jenis Tanah	Resistansi Jenis Tanah Ω -m
Tanah Rawa	30
Tanah Liat dan Tanah Ladang	100
Pasir Basah	200
Kerikil Basah	500
Pasir/Kerikil Kering	1000
Tanah bebatu	2000-3000
Air laut dan air tawah	10-100

Dibawah ini merupakan bahan dan ukuran minimum untuk elektroda pentanahan sebagai berikut:

Tabel 2.14. Dimensi minimum bahan elektroda pentanahan^[6]

Tingkat Proteksi Petir	Bahan	Terminasi Bumi (mm^2)
I Sampai IV	Cu	50
	Al	-
	Fe	80

Beberapa variabel yang memengaruhi sistem pentanahan penangkal Petir (*Grounding System*) berdasarkan *National Electrical Code (1987, 250-83-3)* diantaranya:

- Panjang elektroda. (Minimum 2,5 meter /8 kaki dihubungkan dengan tanah). Satu cara yang sangat efektif untuk menurunkan tahanan tanah adalah memperdalam elektroda. Tanah tidak tetap tahanannya dan tidak dapat diprediksi. Maka dari itu, ketika memasang elektroda, elektroda berada di bawah garis beku (*frosting line*). Ini dilakukan sehingga tahanan tanah tidak akan dipengaruhi oleh pembekuan tanah di sekitarnya.
- Diameter Elektroda. Menambah diameter elektroda berpengaruh sangat kecil dalam menurunkan tahanan. Misalnya, bila diameter elektroda digandakan, maka tahanan sistem pentanahan penangkal petir hanya menurun sebesar 10%.
- Jumlah Elektroda. Cara lain menurunkan tahanan tanah adalah dengan menggunakan banyak elektroda. Lebih dari satu elektroda yang dimasukkan ke dalam tanah dan dihubungkan secara paralel untuk mendapatkan tahanan yang

- d. lebih rendah. Agar penambahan elektroda efektif, jarak batang tambahan setidaknya harus sama dalamnya dengan batang yang ditanam.
- e. Desain. Sistem pentanahan penangkal petir sederhana terdiri atas satu elektroda yang dimasukkan ke dalam tanah. Penggunaan satu elektroda adalah hal yang umum dilakukan dalam pembuatan sistem pentanahan penangkal petir dan bisa ditemukan di luar rumah atau tempat usaha perorangan. Ada pula sistem pentanahan penangkal petir kompleks terdiri atas banyak batang pentanahan yang terhubung, jaringan bertautan atau kisi-kisi, plat tanah, dan loop tanah. Sistem-sistem ini dipasang secara khusus di substasiun pembangkit listrik, kantor pusat, dan tempat-tempat menara seluler. Jaringan kompleks meningkatkan secara dramatis jumlah kontak dengan tanah sekitarnya dan menurunkan tahanan tanah.

2.10. Persyaratan Umum Instalasi Listrik

Nilai standar pentanahan mengacu pada Persyaratan Umum Instalasi Listrik atau PUIL 2000, yaitu kurang dari atau sama dengan 5 (lima) ohm. Dijelaskan bahwa nilai sebesar 5 ohm merupakan nilai maksimal atau batas tertinggi dari hasil resistansi pembumihan yang masih bisa ditoleransi. Nilai yang berada pada range 0 ohm - 5 ohm adalah nilai aman dari suatu instalasi pentanahan. Untuk mencapai nilai tahanan tersebut, tidak semua area bisa terpenuhi karena ada beberapa aspek yang memengaruhinya diantaranya, yaitu:

- a. Kadar air; bila air tanah dangkal/penghujan, maka nilai tahanan sebaran mudah didapatkan sebab sela-sela tanah mengandung cukup air bahkan berlebih, sehingga konduktivitas tanah akan semakin baik.
- b. Mineral/garam; kandungan mineral tanah sangat memengaruhi tahanan sebaran/resistansi karena: semakin berlogam dan bermineral tinggi, maka tanah semakin mudah menghantarkan listrik. Daerah pantai kebanyakan memenuhi ciri khas kandungan mineral dan garam tinggi, sehingga tanah sekitar pantai akan jauh lebih mudah untuk mendapatkan tahanan tanah yang rendah.
- c. Derajat keasaman; semakin asam (PH rendah atau $PH < 7$) tanah, maka arus listrik semakin mudah dihantarkan. Begitu pula sebaliknya, semakin basa (PH tinggi atau $PH > 7$) tanah, maka arus listrik sulit dihantarkan.

- d. Ciri tanah dengan PH tinggi: biasanya berwarna terang, misalnya Bukit Kapur.
- e. Tekstur tanah; untuk daerah yang bertekstur pasir dan berpori akan sulit untuk mendapatkan tahanan sebaran yang baik karena jenis tanah seperti ini, air dan mineral akan mudah hanyut dan tanah mudah kering.

2.11. Sistem Pentanahan

Sistem Pentanahan merupakan suatu usaha untuk mengamankan sistem instalasi listrik dengan cara mentanahkan badan peralatan instalasi tersebut menggunakan elektrode pentanahan yang ditanam ke dalam tanah dan dihubungkan melalui suatu penghantar. Sistem pentanahan juga bisa diartikan sebagai sistem hubungan penghantar yang menghubungkan sistem, badan peralatan dan instalasi dengan bumi atau tanah sehingga dapat mengamankan manusia dari sengatan listrik dan mengamankan komponen-komponen instalasi dari bahaya tegangan arus abnormal. Oleh karena itu, sistem pentanahan menjadi bagian esensial dari sistem tenaga listrik. Tingkat kehandalan sebuah grounding ada di nilai konduktivitas logam terhadap tanah yang berhubungan secara langsung atau logam tertanam. Semakin konduktif tanah terhadap benda logam, maka semakin baik. Kelayakan pentanahan penangkal petir harus bisa mendapatkan nilai tahanan atau resistansi sebaran maksimal 5 ohm (PUIL 2000 : 68).

Sistem pentanahan yang baik adalah sistem yang memenuhi persyaratan yang berlaku sebagai berikut:

- a. Membuat jalur impedansi rendah ke tanah untuk pengaman bangunan, peralatan dan manusia yang ada didalamnya.
- b. Dapat menyebarkan gangguan berulang.
- c. Menggunakan bahan yang tahan terhadap korosi kimiawi tanah.

Untuk mengetahui nilai-nilai hambatan jenis tanah yang akurat maka harus dilakukan pengukuran secara langsung pada lokasi yang digunakan untuk sistem pentaahan, karena struktur tanah yang sesungguhnya tidak sesederhana yang diperkirakan, untuk setiap lokasi yang berbeda mempunyai hambatan jenis tanah yang tidak sama.

Ada dua faktor yang dapat mempengaruhi besar nya impedansi pentanahan, yaitu faktor internal dan eksternal yang meliputi:

1. Faktor Internal:

- a. Dimensi Konduktor pentanahan (diameter dan panjangnya).
- b. Resistivitas relative tanah.
- c. Konfigurasi sistem pentanahan.

2. Faktor Eksternal:

- a. Bentuk arus (sinusoidal, searah dan pulsa).
- b. Frekuensi yang mengalir ke dalam sistem pentanahan.

Tujuan utama pentanahan adalah menciptakan terjadinya jalur yang memiliki *low impedance* (tahanan rendah) terhadap permukaan bumi untuk gelombang listrik dan *transient voltage*. Penerangan, arus listrik, *circuit switching* dan *electrostatic discharge* adalah penyebab umum dari adanya sentakan listrik. Sistem pentanahan yang baik akan meminimalkan efek tersebut. Adapun tujuan lain dari sistem pentanahan adalah sebagai berikut:

Tujuan sistem pentanahan adalah:

- a. Membatasi terjadinya besar tegangan yang ada di bumi agar berada dalam batasan-batasan yang disarankan.
- b. Penyedia jalur untuk aliran arus yang bisa memberikan deteksi jika terjadinya hubungan yang bisa menyebabkan masalah antara konduktor sistem dan bumi. Deteksi ini akan mengakibatkan beroperasinya peralatan otomatis yang memutuskan suplai tegangan dari konduktor tersebut.

Sistem pentanahan memiliki tujuan lain, yaitu:

- a. Menjaga manusia yang ada di daerah tersebut agar terhindar dari tegangan kejut listrik yang sangat berbahaya.
- b. Untuk meminimalisir adanya arus yang berlebih, sehingga tidak memicu adanya ledakan atau kebakaran pada bangunan dan peralatan yang ada didalamnya.

Sistem pentanahan penangkal petir terbagi menjadi tiga diantaranya sebagai berikut:

1. *Single Grounding Rod*

Grounding system penangkal petir yang hanya terdiri atas satu buah titik penancapan batang (rod) pelepas arus atau ground rod di dalam tanah dengan kedalaman tertentu. Untuk daerah yang memiliki karakteristik tanah yang

konduktif, biasanya mudah untuk didapatkan tahanan sebaran tanah di bawah 5 ohm dengan satu buah ground rod penangkal petir.

2. *Paralel Grounding Rod*

Jika sistem single grounding rod penangkal petir masih mendapatkan hasil kurang baik (nilai tahanan >5 ohm), maka perlu ditambahkan ground rod ke dalam tanah yang jarak antar batang minimal 2 meter dan dihubungkan dengan kabel BC/BCC. Penambahan ground rod penangkal petir dapat juga ditanam mendatar dengan kedalaman tertentu, bisa mengelilingi bangunan membentuk cincin atau cakar ayam. Kedua teknik ini bisa diterapkan secara bersamaan dengan acuan tahanan sebaran/resistansi kurang dari 5 ohm setelah pengukuran dengan *Earth Ground Tester*.

3. *Multi Grounding System*

Bila didapati kondisi tanah yang memiliki ciri-ciri sebagai berikut:

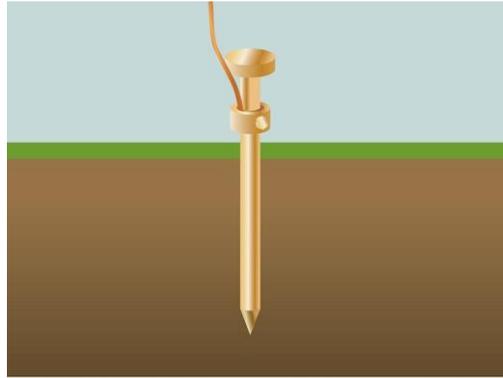
- a. Kering atau air tanah dalam.
- b. Kandungan logam sedikit.
- c. basa (berkapur).
- d. pasir dan berpori.

2.12. **Elektroda Pentanahan**

Prinsip-prinsip elektroda ditentukan dengan melihat bahan yang akan digunakan dalam sistem pentanahan. Menurut PUIL 2000 elektroda adalah penghantar yang ditanamkan ke dalam tanah. Untuk elektroda pentanahan biasanya terbuat dari bahan tembaga dan baja yang mudah menghantarkan tenaga listrik. Elektroda pentanahan dibagi dalam beberapa bentuk, yaitu:

a. Elektroda Batang

Sistem pentanahan dengan elektroda batang adalah suatu sistem pentanahan dengan menggunakan batang-batang elektroda yang ditanam tegak lurus dengan permukaan tanah. Banyaknya batang yang ditanam didalam tanah tergantung besar tahanan pembumian yang diinginkan. Makin kecil tahanan pembumian yang diinginkan, makin banyak batang konduktor yang harus ditanam.



Gambar 2.11 Elektroda Batang^[7]

Rumus yang digunakan dalam perhitungan elektroda batang, yaitu:^[7]

$$R = \frac{\rho}{4\pi l} \left[I_n \left(\frac{4l^2}{dh} - Q \right) \right] \dots\dots\dots (2.11)$$

Dimana:

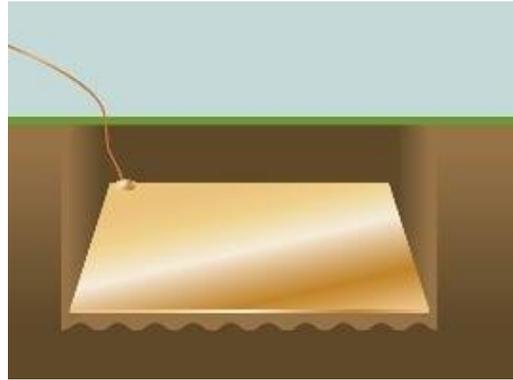
- R = Tahanan pentanahan (Ω) Q = konstanta (1,2)
 ρ = Tahanan jenis tanah (Ω m)
h = Kedalaman elektroda (m)
l = Panjang elektroda (m)
d = Diameter elektroda (m)

Jika kebutuhan pentanahan yang di kehendaki tidak dapat dipenuhi dalam satu elektroda batang, maka bisa menggunakan dua elektroda atau lebih dapat dipergunakan. Persamaan rumus yang digunakan sebagai berikut:^[7]

$$R = \frac{1}{Rt} = \frac{1}{R1} + \frac{1}{R2} + \frac{1}{R3} + \frac{1}{R..n} \dots\dots\dots (2.12)$$

b. Elektroda Plat

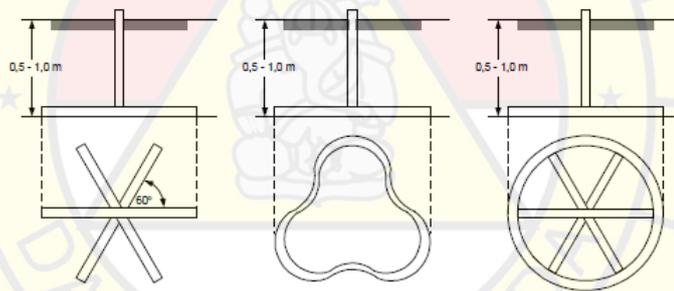
Elektroda plat adalah elektroda yang terbuat dari tembaga. Elektroda ini biasanya berbentuk seperti plat yang utuh dan ada juga yang berlubang. Biasanya elektroda plat ditanam di dalam tanah.



Gambar 2.12 Elektroda Plat^[7]

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 dapat ditanam sebagai pita lurus, radial, melingkar, jala-jala atau kombinasi dari bentuk tersebut seperti gambar dibawah ini yang ditanam sejajar dengan permukaan tanah dengan kedalaman antara 0,5–1 m.



Gambar 2.13 Elektroda Pita^[6]

Pemasangan penanaman elektroda pita ini akan bermasalah apabila mendapatkan lapisan tanah yang berbatu, disamping sulit pemasangannya, untuk mendapatkan nilai tahanan yang rendah juga bermasalah. Sebagai pengganti pemasangan batang hantaran secara vertical ke dalam tanah, dapat dilakukan dengan menanam batang hantaran secara mendatar dan dangkal. Disamping kesederhanaannya itu, ternyata tahanan pentanahan yang dihasilkan sangat dipengaruhi oleh bentuk konfigurasi elektrodanya, seperti dalam bentuk melingkar, radial atau kombinasi antara keduanya.

Tabel 2.15. Besar dan ukuran elektroda pembedaan^[6]

No.	Bahan jenis elektroda	Baja digalvanisasi dengan proses pemanasan	Baja berlapis tembaga	Tembaga
1	Elektroda pita	Pita baja 100 mm ² setebal minimum 3 mm	50 mm ²	Pita tembaga 50 m ² tebal minimum 2 mm
		Pengantar pilin 95 mm ² (bukan kawat halus)		Pengantar pilin 35 mm (bukan kawat halus)
2	Elektroda batang	<ul style="list-style-type: none"> • Pipa baja 25 mm • Baja profil (mm) L 65 x 65 x 7 U • 6,5 T 6 x 50 x 3 • Batang profil lain yang setaraf 	Baja berdiameter 15 mm dilapisi tembaga setebal 250 m	
3	Elektroda Pelat	Pelat besi tebal 3 mm luas 0,52 sampai 1 m ²	Pelat tembaga tebal 2 mm luas 0,5 m ² sampai 1 m ²	Elektroda batang

Resistansi pembedaan dari elektrode bumi tergantung pada jenis dan keadaan tanah sertapada ukuran dan susunan elektrode. Resistans pembedaan suatu elektrode harus dapat diukur. Untuk keperluan tersebut pengantar yang menghubungkan setiap elektrode bumi atau susunan elektrode bumi harus dilengkapi dengan hubungan yang dapat dilepaskan.

Untuk memilih macam elektrode bumi yang akan dipakai, harus diperhatikan terlebih dahulu kondisi setempat, sifat tanah, dan resistansi pembedaan yang diperkenankan. Pengaruh kelembaban lapisan tanah terhadap resistansi pembedaan harus diperhatikan.

Resistansi pembedaan elektrode pita sebagian besar tergantung pada panjang elektrode tersebut dan sedikit tergantung pada luas penampangnya. Elektrode batang dimasukkan tegak lurus kedalam tanah dan panjangnya disesuaikan dengan resistansi pembedaan yang dipelukan. resistansi pembedaan sebagian besar tergantung pada panjangnya dan sedikit bergantung pada ukuran penampangnya.