

BAB II

LANDASAN TEORI

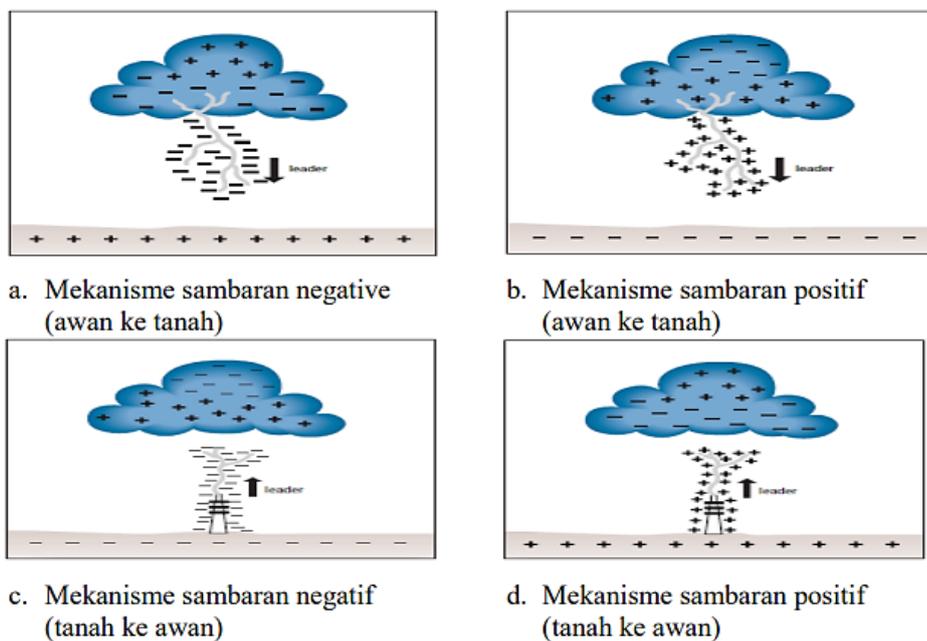
2.1 Petir

Petir adalah cahaya cemerlang yang dihasilkan oleh energi listrik alam yang terjadi antara awan atau awan ke tanah. Hal ini sering terjadi ketika kondisi cuaca teduh atau bergejolak. Petir adalah peristiwa alam, khususnya cara paling umum untuk menghantarkan muatan listrik (*electrical discharge*) yang terjadi di iklim. (Septiyanthy, 2019)

2.2 Mekanisme Terjadinya Petir

Awan bermuatan terbentuk karena kelembapan, naiknya udara, dan partikel bebas atau aerosol. Ketiga inilah yang akan menyebabkan munculnya muatan dalam awan kumulonimbus. Umumnya, muatan negatif berkumpul di dasar dan menyebabkan muatan positif bergerak di atas permukaan tanah, sehingga membentuk medan listrik antara awan dan tanah. Apabila muatan listriknya cukup besar dan kuat medan listrik di udara terlampaui, maka terjadilah pelepasan melalui petir atau terjadi sambaran yang bergerak dengan kecepatan cahaya dengan dampak yang sangat dahsyat mengingat kekuatannya. (Nada, 2018)

Petir yang terjadi di alam dapat dibedakan menjadi beberapa macam seperti Gambar 2. 1.

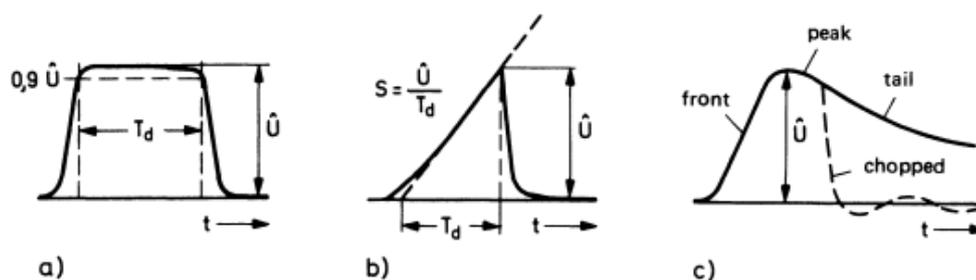


Gambar 2. 1 Jenis-jenis Sambaran Petir (Nada, 2018)

Pada Gambar 2.1, terlihat bahwa selama waktu yang dihabiskan untuk menghantarkan petir, terjadi perpindahan elektron dari awan ke bumi. Lidah petir ini dikenal dengan sebutan step-leader karena akan bergerak perlahan tergantung pada berapa banyak elektron yang ada di udara. Jika lidah petir bergerak menuju suatu benda di tanah, setiap benda di dekatnya akan terdorong dengan muatan berlawanan dan bergerak menuju lidah petir. Karena muatannya berbanding terbalik, kedua muatan ini akan saling tarik menarik, dan muatan positif bergerak menuju pionir langkah yang disebut pionir antarmuka. Untuk mengidentifikasi objek di darat yang disambar, salah satu pemimpin penghubung yang muncul dari setiap objek di bawah lidah petir akan menyambar lidah petir tersebut. Titik pertemuan kedua muatan ini disebut titik tumbukan. Dari sana, terjadi pergerakan muatan negatif ke tanah dan positif ke awan melalui jalan yang telah dirintis oleh *step-leader*. Leader ini disebut pukulan balik (*return-stroke*). (Nada, 2018)

2.3 Karakteristik Surja Petir

Petir mempunyai bentuk gelombang yang berupa gelombang impuls. Tegangan impuls adalah tegangan yang naik dalam waktu singkat sekali kemudian disusul dengan penurunan yang relatif lambat menuju nol. Dalam teknologi tegangan tinggi, suatu pulsa tegangan dengan polaritas tunggal dikatakan sebagai impuls, dalam gambar 2.2 ditunjukkan tiga contoh tegangan impuls.

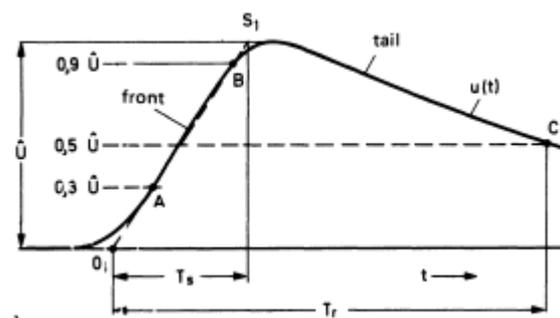


Gambar 2. 2 Contoh Tegangan Impuls: (a) Tegangan Impuls Persegi, (b) Tegangan Impuls berbentuk Baji, (c) Tegangan Impuls Eksponensial Ganda (Kind, 1978)

Untuk percobaan dasar sering digunakan tegangan impuls persegi yang melonjak hingga nilai yang hampir konstan, maupun tegangan impuls berbentuk baji yang dicirikan dengan suatu kenaikan yang selinier mungkin hingga terjadi tembus dan digambarkan dengan kecuraman S . Untuk keperluan pengujian maka tegangan impuls eksponensial ganda telah dibakukan, tanpa osilasi yang cukup berarti maka tegangan impuls ini cepat mencapai nilai maksimum, nilai puncak \hat{U} , dan kemudian perlahan menuju nol. (Kind, 1978)

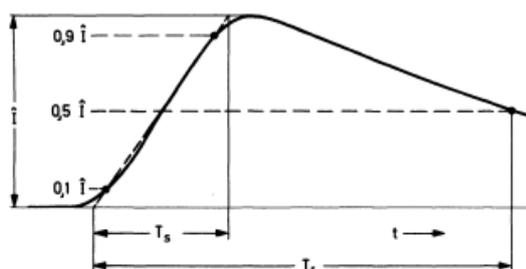
Untuk tegangan lebih yang mengikuti sambaran petir maka dibutuhkan waktu sekitar $1 \mu s$ untuk mencapai nilai puncak, tegangan lebih itu disebut sebagai tegangan lebih atmosfer. Bentuk tegangan ditentukan oleh parameter waktu tertentu untuk dahi dan punggung, seperti yang ditunjukkan dalam gambar 2.3. Karena

bentuk dahi tegangan impuls petir yang benar sering sukar diukur, maka untuk mencirikannya dibentuk garis lurus 0_1S_1 melalui titik A dan B. Kemudian waktu dahi T_s maupun waktu paroh punggung T_r yang terukur dari titik 0_1 hingga titik C juga ditentukan. Secara umum digunakan tegangan impuls petir bentuk 1,2/50 yang berarti suatu tegangan impuls dengan $T_s = 1,2\mu s \pm 30\%$ dan $T_r = 50\mu s \pm 20\%$. (Kind, 1978)



Gambar 2. 3 Parameter Tegangan Impuls Petir (Kind, 1978)

Untuk mensimulasi arus yang dihasilkan oleh sebuah terpaan petir digunakan arus impuls dengan polaritas tunggal yang mencapai nilai puncak \hat{I} dengan cepat tanpa osilasi yang berarti dan kemudian berkurang menuju nol. Karakteristik arus impuls dengan fungsi eksponensial ganda ini didefinisikan sesuai dengan parameter analisis untuk tegangan impuls yang diberikan dalam gambar 2.4. Nilai-nilai yang umum ialah $T_s = 4\mu s$ dan $T_r = 10\mu s$. (Kind, 1978)

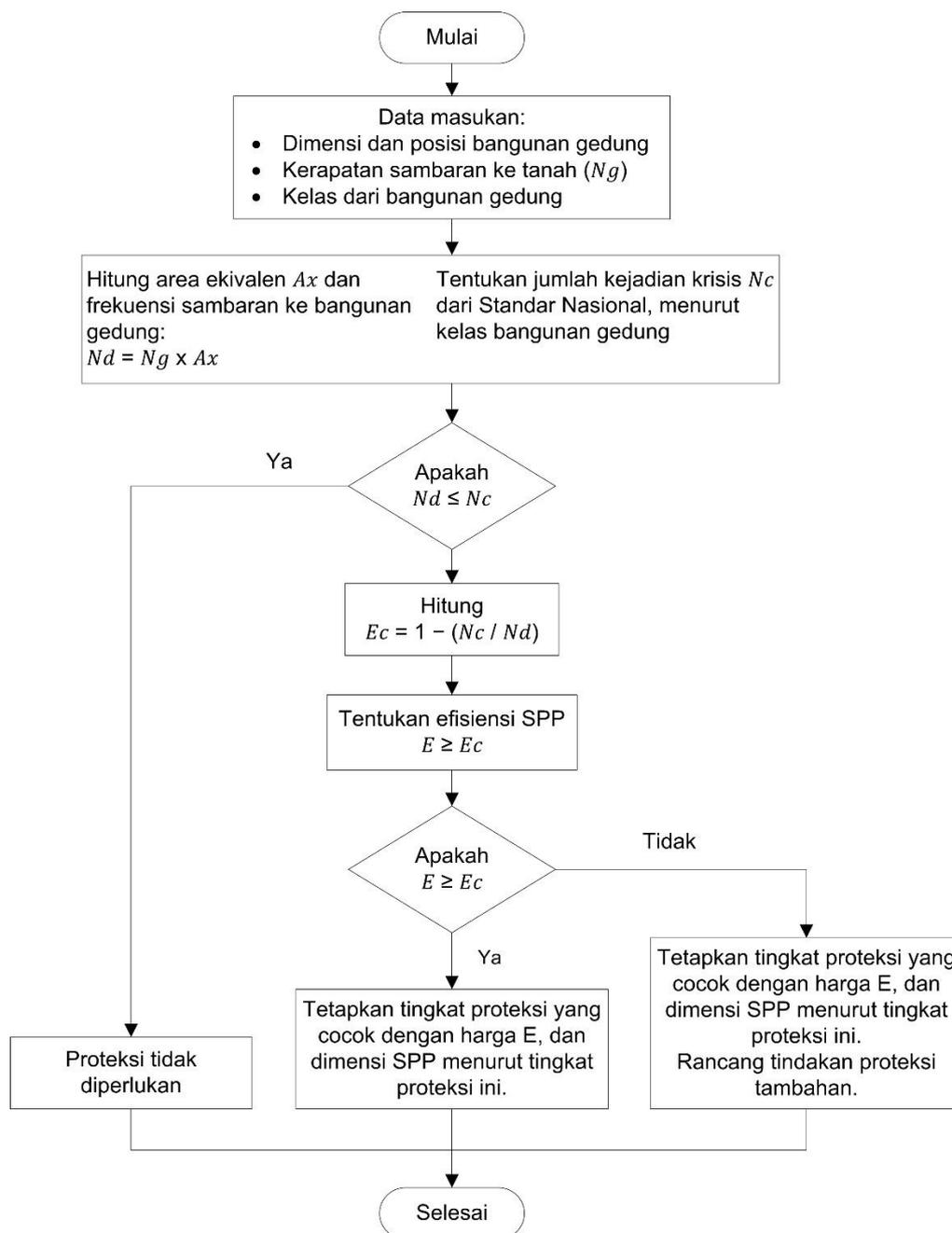


Gambar 2. 4 Arus Impuls Eksponensial Ganda (Kind, 1978)

2.4 Standar Analisis Sistem Proteksi Petir

Ada beberapa standar untuk menentukan kebutuhan sistem proteksi petir dapat menggunakan standar yang ada, yaitu SNI 03-7015-2004, Standar Peraturan Umum Instalasi Penyalur Petir (PUIPP) dan Standar IEC 1024-1-1.

2.4.1 Standar Nasional Indonesia (SNI 03-7015-2004)



Gambar 2. 5 Diagram Alir Prosedur Pemilihan SPP (Badan Standardisasi Nasional, 2004)

Tahap utama dari teknik penentuan SPP memerlukan evaluasi yang memuaskan terhadap kelayakan struktur sesuai dengan rencananya. Aktivitas badai petir di hotel Al-Hambra Singaparna (kepadatan sambaran petir tahunan) dan klasifikasi bangunan harus ditentukan. Data yang menyertainya memberikan landasan untuk penilaian:

- a. Frekuensi sambaran petir rata-rata tahunan N_d sebagai hasil perkalian desintas sambaran ke tanah N_g lokal dan area cakupan ekuivalen A_e dari bangunan gedung.
- b. Frekuensi sambaran rata-rata tahunan N_c yang dapat diterima untuk bangunan gedung yang diperlukan.

Nilai frekuensi sambaran rata-rata tahunan N_c yang dapat diterima harus dibandingkan dengan harga nyata frekuensi sambaran petir N_d ke bangunan gedung. Perbandingan berikut menentukan apakah SPP diperlukan, jika diperlukan, jenisnya apa :

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

sebaiknya dipasang dan tingkat proteksi yang tepat dipilih menurut Tabel 2. 1.

Tabel 2. 1 Efisiensi SPP sehubungan dengan tingkat proteksi (Badan Standardisasi Nasional, 2004)

| Tingkat proteksi | Efisiensi SPP <i>E</i> |
|-------------------------|-----------------------------------|
| I | 0,98 |
| II | 0,95 |
| III | 0,90 |
| IV | 0,80 |

Perancangan sistem proteksi petir harus memenuhi persyaratan yang diberikan dalam standar untuk tingkat proteksi yang dipilih dan jenis bangunan gedung. Jika efisiensi sistem proteksi petir E' yang terpasang lebih kecil dari E , maka harus dilengkapi proteksi tambahan sebagai berikut :

- a. Pembatasan tegangan sentuh dan langkah
- b. Pembatasan peralatan kebakaran, tindakan pencegahan untuk bangunan gedung yang berisi uap mudah terbakar, atau cairan yang dapat mengeluarkan uap mudah terbakar harus menerapkan peraturan atau standar lain yang berlaku.
- c. Mengurangi pengaruh induksi tegangan lebih dari petir dan peralatan sensitif.

Jumlah rata-rata frekuensi sambaran petir langsung pertahun (N_d) dan frekuensi sambaran petir pertahun (N_c) dapat dihitung dengan perkalian kerapatan petir ke bumi pertahun (N_g) dan area cakupan ekivalen dari bangunan gedung (m^2)(A_e) :

$$N_d = N_g \cdot A_e \cdot 10^{-6} \text{ per tahun} \quad (2.1)$$

Dimana :

N_g = Densitas sambaran ke tanah rata-rata tahunan (sambaran petir/ km^2 /tahun) dalam daerah ditempat bangunan gedung berada

A_e = Area cakupan ekivalen dari bangunan gedung (m^2)

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

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

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

Dimana :

T = Hari guruh per tahun

N_g = Densitas sambaran ke tanah rata-rata tahunan (sambaran petir/km²/tahun)
dalam daerah ditempat bangunan gedung berada

Sedangkan besar A_e dapat dihitung sebagai berikut :

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

Dimana :

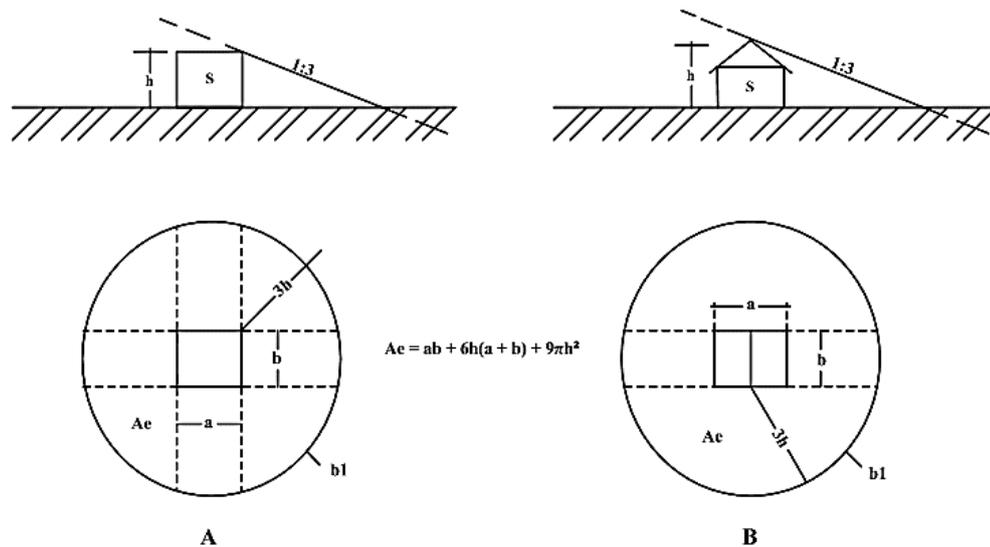
a = Panjang gedung (meter)

b = Lebar gedung (meter)

h = Tinggi gedung (meter)

N_g = Densitas sambaran ke tanah rata-rata tahunan (sambaran petir/km²/tahun)
dalam daerah ditempat bangunan gedung berada

A_e = Area cakupan ekivalen dari bangunan gedung (m²)



Gambar 2. 6 Area Cakupan Ekivalen Bangunan Gedung (Badan Standardisasi Nasional, 2004)

Sehingga dari substitusi persamaan (2.2) dan (2.3) ke persamaan (2.4) maka nilai N_d dapat dicari dengan persamaan berikut :

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

Dimana :

a = Panjang gedung (meter)

b = Lebar gedung (meter)

h = Tinggi gedung (meter)

T = Hari guruh per tahun

N_g = Densitas sambaran ke tanah rata-rata tahunan (sambaran petir/km²/tahun)
dalam daerah ditempat bangunan gedung berada

A_e = Area cakupan ekivalen dari bangunan gedung (m²)

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

Rata-rata frekuensi tahunan (N_n) dari petir yang mengenai tanah dekat gedung dapat dihitung dengan perkalian kerapatan petir ke tanah per tahun (N_g) dengan cakupan daerah disekitar gedung yang disambar (A_g).

$$N_n = N_g \cdot A_g \quad (2.5)$$

Dimana :

N_g = Densitas sambaran ke tanah rata-rata tahunan (sambaran petir/km²/tahun)
dalam daerah ditempat bangunan gedung berada

A_g = Cakupan daerah disekitar gedung yang disambar

Daerah disekitar sambaran petir (A_g) adalah daerah sekitar gedung dimana suatu sambaran ke tanah menyebabkan suatu tambahan lokasi potensial yang dapat mempengaruhi gedung.

2.4.2 Peraturan Umum Instalasi Penangkal Petir (PUIPP)

Menurut Peraturan Umum Instalasi Penangkal Petir (PUIPP) besarnya kebutuhan ditentukan berdasarkan penjumlahan indeks-indeks tertentu yang mewakili keadaan bangunan disuatu lokasi dan dituliskan sebagai :

$$R = A + B + C + D + E \quad (2.6)$$

Dimana :

R = Perkiraan bahaya petir

A = Penggunaan dan isi bangunan

B = Kontruksi bangunan

C = Tinggi bangunan

D = Situasi bangunan

E = Pengaruh kilat

Indeks A menentukan persyaratan struktur untuk kerangka pengamanan petir berdasarkan jenis bangunan. Jenis pekerjaan yang dimaksud adalah pemanfaatan dan benda-benda pada bangunan yang akan dilindungi. Berikut tabel 2.2 yang menunjukkan Indeks A:

Tabel 2. 2 Indeks A - Macam Struktur Bangunan (Direktorat Penyelidikan Masalah Bangunan, 1983)

| No. | Penggunaan dan isi | Indeks A |
|-----|---|----------|
| 1 | Bangunan dan isinya jarang digunakan | 0 |
| 2 | Bangunan tempat tinggal, toko, pabrik kecil | 2 |
| 3 | Bangunan dan isinya cukup penting, misalnya menara air, pabrik, gedung pemerintahan | 2 |
| 4 | Bangunan untuk umum, misalnya bioskop, sekolah, masjid dan gereja | 3 |
| 5 | Instalasi gas, bensin dan rumah sakit | 5 |
| 6 | Bangunan yang mudah meledak | 15 |

Indeks B menentukan kebutuhan struktur untuk kerangka keamanan petir sehubungan dengan pengembangan bangunan. Pengembangan struktur yang dimaksud merupakan bahan pokok yang digunakan untuk mengembangkan struktur. Indeks B akan terlihat pada tabel 2. 3 :

Tabel 2. 3 Indeks B - Bahaya Berdasarkan Kontruksi Bangunan (Direktorat Penyelidikan Masalah Bangunan, 1983)

| No. | Kontruksi Bangunan | Indeks B |
|-----|--|----------|
| 1 | Seluruh bangunan terbuat dari logam (mudah menyalurkan arus listrik) | 0 |

| | | |
|---|---|---|
| 2 | Bangunan dengan konstruksi beton bertulang atau rangka besi dengan atap logam | 1 |
| 3 | Bangunan dengan konstruksi beton bertulang atau rangka besi dengan atap bukan logam | 2 |
| 4 | Bangunan kayu dengan atap bukan logam | 3 |

Indeks C menentukan kebutuhan struktur untuk kerangka asuransi petir berdasarkan tingkat struktur. Ketinggian struktur sangat mempengaruhi nilai arsip yang akan dibuat, karena semakin tinggi struktur dimana sistem penjaminan petir akan diterapkan maka akan semakin tinggi nilai arsip yang akan dihasilkan. Selain itu, gagasan petir yang akan menyambar daerah tertinggi juga mempengaruhi keamanan bangunan. Struktur yang lebih tinggi dari struktur di sekelilingnya perlu dipasang sistem pengamanan petir, karena, jika struktur tersebut tidak dilengkapi penangkal petir, ada kemungkinan petir akan menyambar struktur terlebih dahulu sebelum petir menyambar objek lain. Indeks C dapat dilihat pada tabel 2. 4 :

Tabel 2. 4 Indeks C - Bahaya Berdasarkan Tinggi Bangunan (Direktorat Penyelidikan Masalah Bangunan, 1983)

| No | Tinggi Bangunan sampai dengan ... (dalam meter) | Indeks C |
|----|--|----------|
| 1 | 6 | 0 |
| 2 | 12 | 2 |
| 3 | 17 | 3 |
| 4 | 25 | 4 |
| 5 | 35 | 5 |

| | | |
|----|-----|----|
| 6 | 50 | 6 |
| 7 | 70 | 7 |
| 8 | 100 | 8 |
| 9 | 140 | 9 |
| 10 | 200 | 10 |

Indeks D menentukan kebutuhan struktur untuk kerangka sistem proteksi petir dengan mempertimbangkan kondisi struktur. Bangunan yang dimaksud berada di dataran tinggi atau dataran rendah, tergantung situasinya. Dengan asumsi bangunan tersebut terletak di dataran rendah, maka nilai selanjutnya akan rendah. Untuk sementara, dengan asumsi bangunan tersebut terletak pada posisi strategis, maka nilai daftar selanjutnya akan tinggi. Tabel 2. 5 menunjukkan Indeks D sebagai berikut :

Tabel 2. 5 Indeks D - Bahaya Berdasarkan Situasi Bangunan (Direktorat Penyelidikan Masalah Bangunan, 1983)

| No | Situasi Bangunan | Indeks D |
|----|---|----------|
| 1 | Pada tanah datar di semua ketinggian | 0 |
| 2 | Di kaki bukit sampai tiga per empat tinggi bukit atau di pegunungan sampai 1000 meter | 1 |
| 3 | Di puncak gunung atau pegunungan lebih dari 1000 meter | 2 |

Berdasarkan pengaruh badai petir terhadap suatu bangunan, indeks E menentukan perlu atau tidaknya sistem proteksi petir. Hari-hari guntur yang dimaksud adalah tingkat aksi sambaran petir tahunan. Tingginya aktivitas sambaran

petir di suatu ruangan sangat berdampak pada harga file selanjutnya. Indeks E akan terlihat pada Tabel 2. 6.

Tabel 2. 6 Indeks E - Macam Hari Guntur Per Tahun (Direktorat Penyelidikan Masalah Bangunan, 1983)

| No | Hari Guntur Per Tahun | Indeks E |
|----|-----------------------|----------|
| 1 | 2 | 0 |
| 2 | 4 | 1 |
| 3 | 8 | 2 |
| 4 | 16 | 3 |
| 5 | 32 | 4 |
| 6 | 64 | 5 |
| 7 | 128 | 6 |
| 8 | 256 | 7 |

Dengan berfokus pada keadaan di mana tingkat bahaya tidak sepenuhnya ditentukan dan kemudian memasukkan catatan-catatan ini, kita mendapatkan ukuran risiko yang ditanggung oleh struktur dan tingkat keamanan yang harus diterapkan berdasarkan Tabel 2. 7.

Tabel 2. 7 Indeks R - Perkiraan Bahaya (Direktorat Penyelidikan Masalah Bangunan, 1983)

| R | Perkiraan Bahaya | Instalasi Petir |
|------|------------------|-----------------|
| < 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 |

Dimana semakin besar nilai R maka semakin besar pula bahaya serta kerusakan yang di timbulkan dari sambaran petir.

2.4.3 Standar IEC 1024-1-1

Pemilihan tingkat proteksi yang memadai untuk suatu sistem proteksi petir didasarkan pada frekuensi sambaran petir langsung setempat (N_d) yang diperkirakan ke struktur yang diproteksi dan frekuensi sambaran petir 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 sebagai :

$$N_g = 0,04 \cdot T_d^{1,26} / \text{km}^2 / \text{tahun} \quad (2.7)$$

Dimana :

T = Hari guruh per tahun

N_g = Densitas sambaran ke tanah rata-rata tahunan (sambaran petir/ km^2 /tahun)

Dimana T_d adalah jumlah hari guruh rata-rata per tahun di daerah tempat struktur yang akan di proteksi.

$$N_d = N_g \cdot A_e \cdot 10^{-6} / \text{tahun} \quad (2.8)$$

Dimana :

N_g = Densitas sambaran ke tanah rata-rata tahunan (sambaran petir/ km^2 /tahun)

dalam daerah ditempat bangunan gedung berada

A_e = Area cakupan ekivalen dari bangunan gedung (m^2)

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

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 struktur sejauh $3h$ dimana h adalah tinggi struktur yang di proteksi. Pengambilan keputusan perlu atau tidaknya 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 efisiensi :

$$E \geq 1 - \frac{N_c}{N_d}$$

dengan tingkat proteksi sesuai Tabel 2. 8.

Tabel 2. 8 Efisiensi Sistem Proteksi Petir (IEC 1024-1-1, 1993)

| Tingkat Proteksi | Efisiensi SPP (E) |
|------------------|-------------------|
| I | 0,98 |
| II | 0,95 |
| III | 0,90 |
| IV | 0,80 |

Keterangan:

$E < 0\%$ tidak dibutuhkan perlindungan petir

$0\% < E \leq 80\%$ dibutuhkan tingkat proteksi IV

$80\% < E \leq 90\%$ dibutuhkan tingkat proteksi III

$90\% < E \leq 95\%$ dibutuhkan tingkat proteksi II

$5\% < E \leq 98\%$ dibutuhkan tingkat proteksi I

$E > 98\%$ dibutuhkan tingkat proteksi I apabila ditambahkan alat perlindungan

Menentukan posisi finial atau terminasi udara berdasarkan tingkat proteksi yang didapatkan pada Tabel 2. 8 dan Tabel 2. 9.

2.5 Sistem Proteksi Petir

Sistem proteksi petir adalah sebuah rangkaian sistem proteksi atau perlindungan dari bahaya sambaran petir, baik sambaran petir langsung maupun tidak langsung. Mempertimbangkan banyaknya bahaya yang ditimbulkan oleh sambaran petir, sistem penjaminan petir harus dirancang untuk melindungi struktur dan peralatan listrik dan elektronik.(Saputra, 2022)

2.6 Jenis –jenis Proteksi Petir

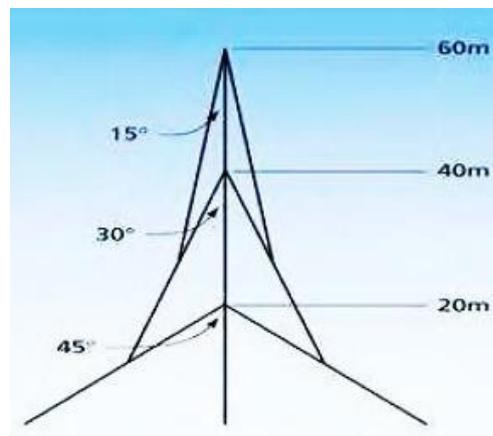
Jenis proteksi petir memiliki dua, yaitu sistem proteksi petir pasif dan sistem proteksi petir aktif.

2.6.1 Sistem Proteksi Petir Pasif

Pada sistem proteksi petir pasif terdapat 3 (tiga) jenis yaitu proteksi petir *Franklin Rod*, proteksi petir Sangkar Faraday dan proteksi petir Non Konvensional.

a. **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° . 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 seperti Gambar 2. 7.(Septiyanthy, 2019)

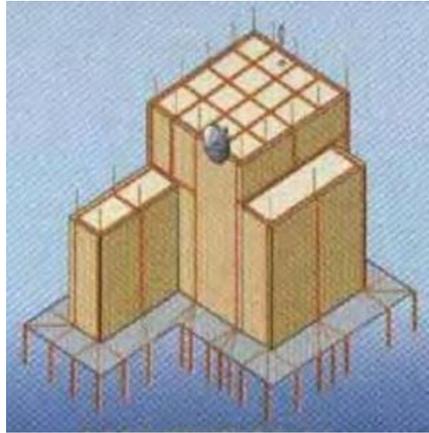


Gambar 2. 7 Sistem Proteksi Kerucut (Septiyanthy, 2019)

b. **Sangkar Faraday**

Untuk mengatasi kekurangan Kutub Franklin karena adanya kawasan yang tidak dilindungi dan semakin lemahnya kawasan yang dilindungi dengan semakin terpisahnya dari Batang Franklin, maka dibuatlah Kerangka Kandang Faraday.

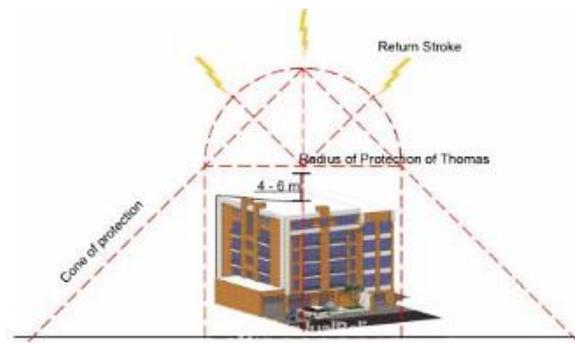
Batas Faraday pada Gambar 2. 8 mempunyai kerangka dan sifat seperti Batang Franklin, namun dipasang pada seluruh permukaan atap struktur dengan tingkat poros yang lebih rendah.(Septiyanthy, 2019)



Gambar 2. 8 Metode Sangkar Faraday (Septiyanthy, 2019)

c. Non Konvensional (*Early Streamer Emission*)

Sistem baru penangkal semacam ini telah dikembangkan untuk menarik petir dari jarak jauh, sehingga memperluas radius perlindungan. Kerangka pengaman petir elektrostatis ini lebih tidak berbahaya bagi ekosistem karena menggunakan inovasi *Early Streamer Emissions*. Kerangka kerja keamanan petir *Early Streamer Emissions* adalah metodologi yang umumnya baru dalam mengatasi masalah kerusakan pada instalasi petir. Direkomendasikan dengan penuh semangat untuk perlindungan area dengan wilayah yang lebih luas, sehingga dapat menjangkau bagian terjauh dari wilayah atau bangunan saat ini. Kerangka kerja sistem proteksi petir non-konvensional dapat dilihat pada Gambar 2. 9.(Utomo, 2022)



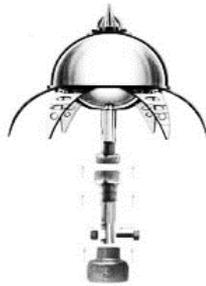
Gambar 2. 9 Sistem Non Konvensional (Utomo, 2022)

2.6.2 Sistem Proteksi Petir Aktif

Pada sistem proteksi petir aktif terdapat 2 (dua) jenis yaitu proteksi petir Ionisasi Corona dan proteksi petir Radioaktif.

a. Ionisasi Corona

Sistem ini menarik petir untuk menyambar ujung penyalur petir dengan mengeluarkan partikel-partikel hingga tidak terlihat. Ketebalan partikel menjadi semakin menonjol jika semakin dekat jaraknya ke ujung penyalur petir. 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. Pada Gambar 2. 10 dibawah ini adalah bentuk fisik penangkal petir Ionisasi Corona (Septiyanthy, 2019)



Gambar 2. 10 Penangkal Petir Ionisasi Corona (Hidayati, 2022)

b. Radioaktif

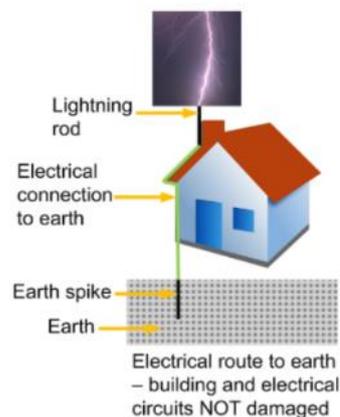
Meskipun merupakan sistem penarik petir terbaik, penggunaannya dilarang karena radiasi yang dihasilkannya dapat membahayakan kesejahteraan manusia. Selain itu, sifat radioaktivitasnya seiring berjalannya waktu akan menyebabkan sistem ini mengurangi radius keamanannya. Jenis ini dipromosikan sekitar tahun 1975 hingga 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. Pada Gambar 2.11 dibawah ini adalah bentuk fisik penangkal petir Radioaktif. (Septiyanthy, 2019)



Gambar 2. 11 Batang Finial Sistem Penangkal Petir Radioaktif (Septiyanthy, 2019)

2.7 Prinsip Kerja Penangkal Petir

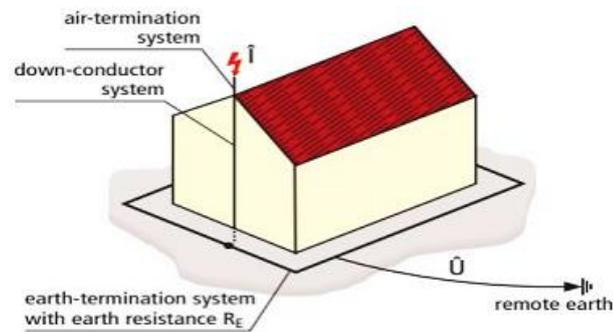
Cara kerja penangkal petir adalah ketika muatan listrik negatif di bagian bawah awan mencukupi, maka muatan listrik positif yang ada di permukaan tanah akan segera tertarik. Energi listrik kemudian dengan cepat merambat melalui jalur konveyor, menuju akhir dari bilah petir. Ketika muatan listrik negatif berada cukup dekat dengan atap, daya tarik antara kedua muatan menjadi lebih membumi, muatan positif pada penutup penangkal petir ditarik menuju muatan negatif. Berkumpulnya kedua muatan tersebut menimbulkan aliran listrik. Aliran listrik tersebut akan dialirkan ke dalam tanah, melalui link conveyor, sehingga sambaran petir tidak mengenai bangunan seperti digambarkan pada Gambar 2. 12.(Zakaria, 2019)



Gambar 2. 12 Cara Kerja Penangkal Petir (Putera, 2020)

2.8 Sistem Proteksi Petir Eksternal

Sistem pengamanan petir eksternal merupakan pengembangan dari sistem perlindungan luar untuk melindungi suatu objek dari risiko sambaran petir langsung atau risiko sambaran energi penting akibat petir. Penetapan pengamanan petir luar sebagai tiang petir yang dipasang di luar struktur. Tiang petir bekerja dengan cara mencari sambaran petir dan mengarahkan arus petir ke tanah tanpa merusak bangunan seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2. 13.(Saputra, 2022)



Gambar 2. 13 Sistem Proteksi Petir Eksternal (Nada, 2018)

Komponen sistem penangkal petir eksternal umumnya terdiri dari:

2.8.1 Terminasi Udara (*Air Termination*)

Terminasi Udara, dari sistem proteksi petir eksternal berfungsi sebagai penerima sambaran petir. Kerangka ujung udara harus dipasang pada tempat paling tinggi dari struktur atau pada area yang wajar pada struktur agar terlindung dari sambaran petir. (Saputra, 2022)

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

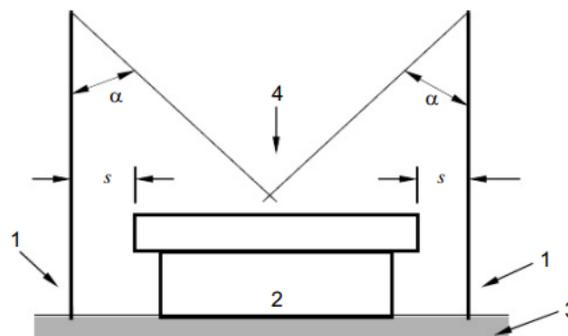
a. Metode Sudut Proteksi

Metode sudut proteksi secara geometris mempunyai keterbatasan dan tidak dipergunakan untuk bangunan gedung yang lebih tinggi dari radius bola gulir yang ditentukan dalam Tabel 2. 9.

Tabel 2. 9 Penempatan Terminasi Udara sesuai tingkat proteksi (Badan Standardisasi Nasional, 2004)

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

Konduktor terminasi harus ditempatkan sedemikian rupa sehingga seluruh bagian struktur yang dilindungi berada di dalam permukaan selubung yang dihasilkan oleh proyeksi titik konduktor terminasi udara ke bidang acuan, pada titik α ke garis atas ke segala arah. Konfigurasi ujung udara menggunakan metode sudut proteksi ini dapat dilihat pada Gambar 2. 14, Gambar 2. 15 dan Gambar 2. 16.



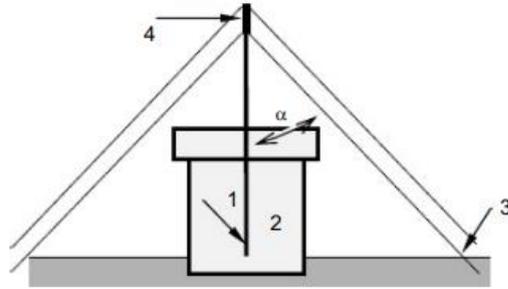
Gambar 2. 14 Proyeksi bidang vertical (tampak depan)

Keterangan Gambar :

- 1 = Tiang terminasi udara
- 2 = Bangunan gedung yang diproteksi
- 3 = Bidang referensi
- 4 = Perpotongan antara kerucut protektif

s = Jarak pemisah

α = Sudut Proteksi sesuai Tabel 2. 9



Gambar 2. 15 Proyeksi bidang vertical (tampak samping)

Gambar 2. 15 memperlihatkan tampak samping proyeksi pada bidang vertikal tegak lurus ke bidang yang terdiri dari dua tiang.

Keterangan Gambar :

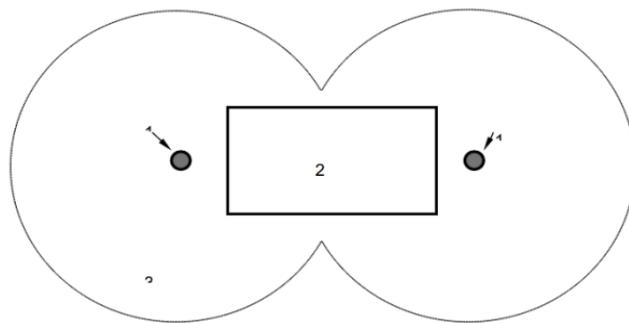
1 = Tiang terminasi udara

2 = Bangunan gedung yang diproteksi

3 = Bidang referensi

4 = Kawat terminasi udara horizontal

α = Sudut proteksi



Gambar 2. 16 Proyeksi bidang horizontal (tampak atas)

Pada gambar 2. 16 dapat dilihat sistem proteksi petir eksternal terisolasi menggunakan tiang terminasi udara terisolasi yang dirancang menurut metoda perancangan sudut proteksi terminasi udara.

b. Metode Bola Bergulir

Metode bola bergulir sebaiknya digunakan pada bangunan dengan bentuk yang rumit. Dengan teknik ini mungkin ada sebuah bola dengan radius R yang berputar di atas tanah, mengelilingi konstruksi dan melewati desain sedemikian rupa hingga bertemu dengan tanah atau desain yang berhubungan dengan permukaan dunia yang dilengkapi isian sebagai pemandu. Titik kontak bola yang bergerak pada desain adalah titik yang dapat tersambar petir dan pada saat itu harus diamankan dengan konduktor terminasi udara. Semua petir yang menyambar gedung pada jarak R dari ujung penangkal petir akan mempunyai peluang yang sama. Besar kecilnya R dihubungkan dengan besarnya arus petir dan dinyatakan melalui persamaan 2.9.

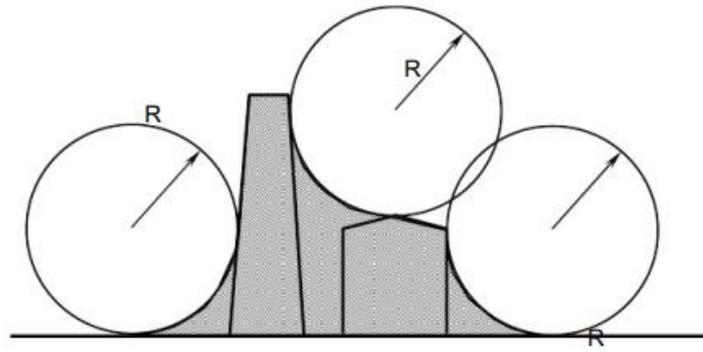
$$R = I^{0,75} \quad (2.9)$$

Dimana :

R = Radius Proteksi (m)

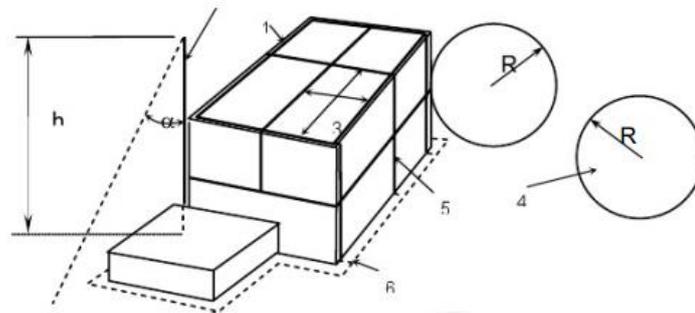
I = Arus sambaran petir

Jika arus petir yang lebih kecil dari I mengenai di sekitar bangunan, struktur tersebut masih dapat ditangkap. Dengan asumsi arus petir lebih besar dari I , maka akan ditangkap oleh penangkal petir. Dengan strategi ini, posisi sistem terminasi udara dianggap memuaskan jika tidak ada titik dalam ruang terlindungi yang digerakkan oleh bola yang bergerak dengan radius R , mengelilingi atau lebih struktur ke segala arah. Dengan demikian, bola seharusnya hanya menyentuh tanah atau kerangka ujung.



Gambar 2. 17 Perancangan terminasi udara SPP menurut bola bergulir

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

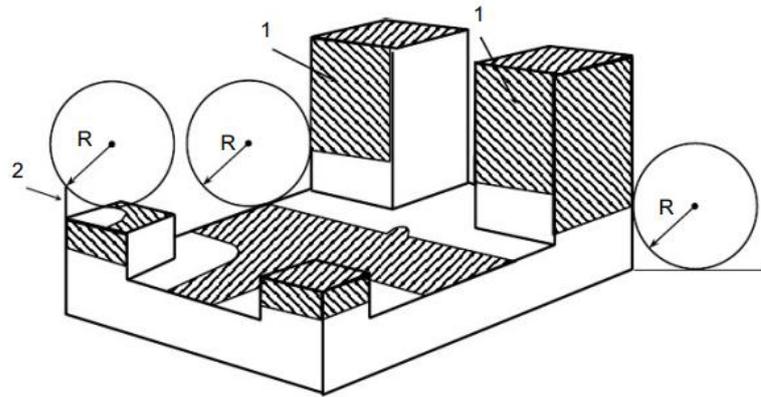


Gambar 2. 18 Perancangan terminasi udara SPP menurut metode bola bergulir dan susunan umum elemen terminasi udara

Keterangan :

- 1 = Kawat penangkap
- 2 = Batang penangkap
- 3 = Ukuran jala
- 4 = Bola bergulir
- 5 = Konduktor penyalur
- 6 = Elektroda bumi
- h = Tinggi terminasi udara

- α = Sudut proteksi
- R = Radius bola bergulir



Gambar 2. 19 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. 9
- 2 = Tiang diatas bangunan gedung

Metode bola bergulir mempunyai beberapa parameter, yaitu jarak sambar, distribusi arus puncak, sudut lindung dan daerah lindung.

2.8.2 Konduktor Penyalur

Kemampuannya sebagai penyalur arus petir yang mengenai Terminasi udara dan disalurkan ke pembumian/*grounding*. Keputusan jumlah dan posisi konduktor penyalur harus mempertimbangkan fakta bahwa, dengan asumsi aliran petir dipartisi menjadi beberapa konduktor penyalur, risiko guncangan horizontal dan impedansi elektromagnetik di dalam struktur dapat dikurangi.(Septiyanthy, 2019)

Jenis-jenis bahan penghantar penyalur:

1. Konduktor Jenis BC (*Bare Cooper*)

Konduktor jenis ini memiliki sistem konduktansi penghantarnya terdiri dari pilinan konduktor yang disatukan sehingga menghasilkan konstruksi konduktor yang kuat dan tidak mudah putus. Konduktor jenis BC ini tidak dibalut isolator. Ukuran konduktor ini pada umumnya antara 6mm^2 hingga 500mm^2 .



Gambar 2. 20 Konduktor Jenis BC (Zipur, 2020)

2. Konduktor Jenis AAAC (*All Aluminium Alloy Cable*)

Konduktor ini terbuat dari aluminium-magnesium-silicon campuran logam, keterhantaran listrik tinggi yang berisi magnesium silicide, untuk memberi sifat yang lebih baik. AAAC mempunyai suatu anti karat dan kekuatan yang baik, sehingga daya hantarnya lebih baik.



Gambar 2. 21 Konduktor Jenis AAAC (Zipur, 2020)

3. Konduktor Jenis ACSR (*Aluminium Cable Steel Reinforced*)

Konduktor ACSR merupakan kawat penghantar yang terdiri dari aluminium berinti kawat baja. Konduktor ini digunakan untuk saluran-saluran transmisi tegangan tinggi, dimana jarak antara menara/tiang berjauhan, mencapai ratusan

meter, maka dibutuhkan kuat tarik yang lebih tinggi, untuk itu digunakan kawat penghantar ACSR.



Gambar 2. 22 Konduktor Jenis ACSR (Zipur, 2020)

2.8.3 Penumbumian

Penumbumian adalah memasang setidaknya satu terminal ke dalam tanah dengan tujuan tertentu untuk mendapatkan perlawanan penbumian yang ideal. Terminal penendirian terhubung dengan bumi. Penghantar bumi tidak berinsulasi yang ditanamkan ke dalam bumi dipandang sebagai komponen terminal bumi. Sebagai bahan terminal, digunakan tembaga atau baja yang diaduk atau dilapisi dengan tembaga selama keadaan terdekat tidak memerlukan penggunaan bahan lain. (Zakaria, 2019)

Tahanan pentanahan adalah tahanan elektroda bumi dan konduksi rangkaian tanah. Resistansi pentanahan seluruh sistem pentanahan yang diukur pada satu titik dikenal sebagai tahanan pentanahan total. Tanah itu sendiri merupakan petunjuk yang buruk, sehingga setiap jenis tanah yang memiliki jenis yang berbeda mempunyai nilai resistivitas yang berbeda. Berdasarkan Peraturan Umum Instalasi Penyalur Petir (PUIPP), hambatan yang terjadi dijaga agar lebih kecil dari 5 ohm.

Nilai tahanan jenis tanah ditentukan berdasarkan standar Persyaratan Umum Instalasi Listrik (PUIL 2011) yang ditunjukkan pada Tabel 2. 10.

Tabel 2. 10 Karakteristik Tanah (PUIL, 2011)

| Jenis Tanah | Resistansi Jenis Tanah (Ωm) |
|-----------------------------|--|
| Tanah rawa | 30 |
| Tanah liat dan tanah ladang | 100 |
| Pasir basah | 200 |
| Kerikil basah | 500 |
| Pasir/kerikil kering | 10000 |
| Tanah berbatu | 3000 |

2.9 Elektroda Pembumian

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

2.9.1 Elektroda Batang

Sistem pembumian dengan elektroda batang merupakan suatu rangka pembumian yang menggunakan batang-batang terminal yang dipasang berlawanan dengan permukaan tanah. Ketahanan yang diinginkan terhadap pembumian menentukan jumlah batang yang ditanam di dalam tanah. Semakin sederhana oposisi pembumian yang ideal, semakin banyak batang pemandu yang harus dipasang. Batang-batang konduktor ini saling berhubungan satu sama lain. (Septiyanthy, 2019)



Gambar 2. 23 Elektroda Batang (Septiyanthy, 2019)

Rumus tahanan pentanahan elektroda batang tunggal:

$$R = \frac{\rho}{4\pi L} \times \ln \left(\frac{4L^2}{dh} - Q \right) \quad (2.10)$$

Dimana :

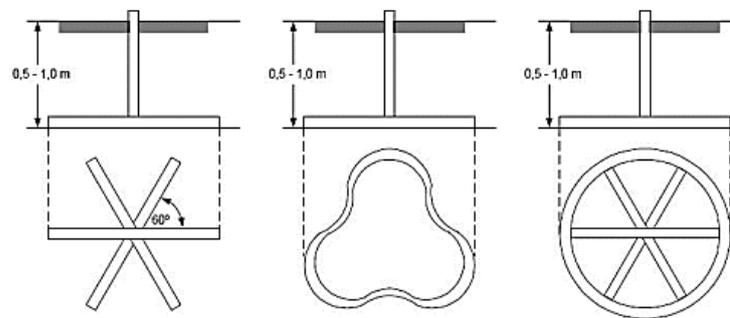
- R = Tahanan pembedaan (Ω)
- ρ = Tahanan jenis tanah ($\Omega.m$)
- h = Kedalaman elektroda (m)
- d = Diameter elektroda (m)
- L = Panjang elektroda (m)
- Q = Konstanta (1,2)

2.9.2 Elektroda Plat

Pelat elektroda dapat dibuat dari wire mesh, pelat logam berlubang, atau kawat kasa. Sebagai aturan umum, terminal semacam ini ditanam secara mendalam. Pelat tembaga, timah, atau baja yang tertanam di dalam tanah biasanya membentuk elektroda pelat persegi atau persegi panjang. Cara pemasangannya biasanya vertikal, karena dengan pemasangan pada bidang datar hasilnya tidak jauh berbeda dengan vertikal. (Septiyanthy, 2019)

2.9.3 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 mengalami kekeringan. (Septiyanthy, 2019)



Gambar 2. 24 Cara pemasangan Elektroda Pita (Septiyanthy, 2019)

2.10 Penelitian Terkait

Berdasarkan studi tentang Sistem Proteksi Penangkal Petir yang pernah dilakukan. Beberapa penelitian yang signifikan dapat dilihat pada Tabel 2. 11.

Tabel 2. 11 Penelitian Terkait

| No | Judul | Nama Peneliti | Tempat dan Tahun Penelitian | Pembahasan Jurnal |
|----|---|----------------|---|---|
| 1 | Analisis Sistem Penangkal Petir Pada Bts Di Pt. Dayamitra Telekomunikasi (Mitratel) | Nurwina Ariana | Universitas Muhammadiyah Makassar, 2019 | Penelitian ini membahas tentang tingkat kebutuhan BTS akan penangkal petir, luas daerah yang terproteksi sistem penangkal petir pada BTS Terminal |

| | | | | |
|---|---|-----------------------|---|---|
| | | | | Mamuju, dan sistem pentanahan pada BTS Terminal Mamuju. |
| 2 | Perancangan Sistem Proteksi Petir Eksternal dan Internal Pembangkit Listrik Tenaga Surya Di Rt 28 Kunangan Jaya 2 Desa Bungku | Muhamad Rifki Saputra | Universitas Jambi, 2022 | Penelitian ini membahas tentang desain dan pemasangan proteksi petir eksternal maupun internal PLTS di RT 28 Dusun Kunangan Jaya 2 Desa Bungku. |
| 3 | PERANCANGAN SISTEM PROTEKSI PETIR INTERNAL PADA GEDUNG REKTORAT UIN SUSKA RIAU | Rosmanidar | Universitas Islam Negeri Sultan Syarif Kasim Riau Pekanbaru, 2021 | Penelitian ini membahas tentang perancangan suatu sistem proteksi petir internal pada gedung Rektorat UIN SUSKA RIAU. Tujuannya untuk melindungi peralatan listrik dan elektronik pada setiap ruangan yang sangat sensitif terhadap sambaran petir. |
| 4 | PERANCANGAN SISTEM PROTEKSI PETIR DI GEDUNG DISKOMINFO KABUPATEN TASIKMALAYA | Fu'ad Fadlillah | Universitas Siliwangi Tasikmalaya, 2019 | Penelitian ini membahas tentang Perancangan Sistem proteksi internal ini dirancang untuk melengkapi sistem proteksi eksternal yang sudah terpasang. Gedung DISKOMINFO Kabupaten Tasikmalaya terbagi kedalam dua Zona Proteksi Petir Internal yaitu ZPP 1 dan ZPP 2. Sistem proteksi internal yang |

| | | | | |
|---|---|------------------------|---|---|
| | | | | dirancang mampu menahan arus surja secara normal tanpa kerusakan. |
| 5 | ANALISIS KINERJA SISTEM PENTANAHAN PENANGKAL PETIR UNIVERSITAS DARMA PERSADA | Muhammad Priyo Utomo | Universitas Darma Persada Jakarta, 2022 | Penelitian ini membahas tentang kesesuaian sistem penangkal petir dan radius perlindungan sistem penangkal petir yang terpasang di Universitas Darma Persada berdasarkan Persyaratan Umum Instalasi Penangkal Petir (PUIPP) dan SNI 03-7015-2004. Pengumpulan data dilakukan dengan melakukan observasi komponen utama sistem penangkal petir, pengukuran tahanan pentanahan dan perhitungan radius perlindungan sistem penangkal petir menggunakan metode bola bergulir dan menurut radius proteksi. |
| 6 | Perancangan Sistem Proteksi Eksternal Penyalur Petir di Workshop PT. Bukaka Teknik Utama Balikpapan | Dimas Pangestu Danar P | Universitas Balikpapan, 2023 | Penelitian ini membahas tentang PT Bukaka Teknik Utama sedang melakukan pembangunan gedung workshop yang cukup luas dengan panjang 60m, tinggi 15m dan lebar 20m yang hampir |

| | | | | |
|---|--|--------------------------|--|---|
| | | | | <p>keseluruhan bangunan terbuat dari baja. Metode yang akan digunakan dalam menentukan proteksi petir adalah metode bola bergulir. Karena bentuk bangunan memiliki tipe atap pelana kuda tingkat proteksi terdapat pada level IV dengan radius perlindungan sebesar 100,9m dan mampu memproteksi arus petir sampai 234,89 kA. Setelah dilakukan simulasi dengan menggunakan software Sparkta metode bola bergulir standar NFPA 780 dan BS 7430 diperoleh detail hasil kalkulasi Risk Assesment yang cukup aman.</p> |
| 7 | <p>EVALUASI SISTEM PROTEKSI PETIR EKSTERNAL PADA GEDUNG SMP IT RAUDHATUL JANNAH KOTA CILEGON</p> | <p>NDARU PURNOMO AJI</p> | <p>UNIVERSITAS ISLAM SULTAN AGUNG SEMARANG, 2021</p> | <p>Penelitian ini membahas tentang mengetahui radius proteksi, kebutuhan proteksi petir pada gedung SMP IT RAUDHATUL JANNAH dan untuk mengevaluasi sistem proteksi petir eksternal apakah sudah optimal serta</p> |

| | | | | |
|----|--|----------------------|---|---|
| | | | | memenuhi persyaratan standarisasi |
| 8 | PERENCANAAN SISTEM PROTEKSI PENANGKAL PETIR DI STADION SAKTI LODAYA KECAMATAN CISAYONG KABUPATEN TASIKMALAYA | Zaki Mulyadi | Universitas Siliwangi, 2023 | Penelitian ini membahas tentang assesment risk petir terhadap bangunan di stadion sakti lodaya dan Menyusun perencanaan sistem grounding di Stadion Sakti Lodaya yang memenuhi standar yang berlaku, salah satunya yaitu Standar Nasional Indonesia (SNI 03-7015-2004). |
| 9 | Analisa Kebutuhan Sistem Proteksi Petir Pada Gedung Pascasarjana Universitas Ichsan Gorontalo | Amelya Indah Pratiwi | Universitas Ichsan Gorontalo, 2023 | Penelitian ini membahas tentang menganalisis kebutuhan sistem proteksi sambaran petir berdasarkan standar Peraturan Umum Instalasi Penyaluran Petir (PUIPP) dan International Electrotecnhical Commision (IEC) 1024-1-1 dan Perencanaan sistem proteksi sambaran petir gedung Pasca Sarjana menggunakan metode sudut lindung. |
| 10 | Perencanaan Sistem Proteksi Petir Eksternal pada Gedung Wisma Barito Pacific | R. ADITYA GHANI | Institut Teknologi Nasional Bandung, 2021 | Penelitian ini membahas tentang merencanakan sistem proteksi petir eksternal pada gedung |

| | | | | | |
|--|---|--|--|--|--|
| | Menggunakan Metoda Rolling Sphere | | | Wisma Pacific Barat menggunakan metoda rolling sphere agar mendapatkan keandalan dan keamanan yang baik. | Barito Jakarta dengan rolling dan yang |
|--|---|--|--|--|--|