



Analisis Sistem Proteksi Penangkal Petir Eksternal Dengan Metode Sudut Pada Gedung Bertingkat

Nurhabibah Naibaho^{1*}, Aditya Farhanuddin².

^{1,2} Prodi Teknik Elektro, Fakultas Teknik Universitas Krisnadwipayana, Jl. Kampus UNKRIS Jatiwaringin, Bekasi 13077, Indonesia

*¹ nurhabibah@unkris.ac.id ; ² aditya.farhanuddin@gmail.com.

* corresponding author

ARTICLE INFO

Available Online: 24/02/2026

Keywords:

Lightning Strike,
Lightning Rod,
Protection Angle Method,
Rolling Ball Radius,
Lightning Strike Efficiency.

ABSTRACT

Geographically Indonesia as a tropical country located on the equator and is a maritime continent with a vast sea, relatively high rainfall causes relatively high air humidity, this causes lightning clouds containing electric charges to form very easily with destructive properties, seeing some of the damage that usually arises due to lightning strikes, then an effort to overcome the strike is known as lightning protection. In this type of research, a type of quantitative research is carried out with the processing and calculation of output data from observations including multi-storey building data, thunder days, specifications and types of lightning rods, lightning current conductors, and grounding systems with standard criteria based on the 1983 General Lightning Installation Regulations (PUIPP) and SNI 03-7015-2004. estimated risk of lightning strikes index value of 22, average annual strike frequency of 2.43 strikes and lightning strike efficiency value of 0.96 protection level I. minimum cross-sectional area 22.5 mm. Minimum cross-sectional area of 22.5 mm², 2x35 mm² coaxial cable installed and the total resistance value of multiple ground rod electrodes of 1.04Ω, a maximum of 2.5Ω is in accordance with the standard and in the air termination with the calculation of the radius of the rolling ball with a radius of 20 m lightning strikes each end of the building side are still exposed to the touch of the rolling ball. Because the air termination installed is conventional type, the calculation of air termination with electrostatic lightning rod protection Angle α is $\angle 42.06^\circ$ with a lightning strike distance to the building as high as 134.15 m. Therefore, optimization is carried out using an electrostatic type lightning rod Flash Vectron FV6 brand with a radius of 140 m.

© 2026 Jurnal Teknokris All rights reserved.

1. Pendahuluan

Indonesia terletak pada garis khatulistiwa dengan laut luas dan kebakaran hutan yang melepaskan aerosol ke udara menyebabkan udara lembab tinggi sehingga, awan petir CB (Cumulonimbus) dengan muatan listrik mudah terbentuk, menyebabkan bahaya akan terjadinya sambaran petir [1]. Petir merupakan suatu peristiwa lepasan muatan listrik dari ion bebas bergerak di awan. Ionisasi terjadi karena perubahan wujud air dan gerak gesek awan. Ketika awan bergabung, muatan berbeda menciptakan petir. Elektron saling bertabrakan pada permukaan bumi akibat gerak angin dan gesekan awan [5]. Dampak dari sambaran tersebut bisa terjadi kepada manusia, bangunan, telekomunikasi, sinyal, instalasi listrik, alat elektronik serta lainnya. Arus sambaran tersebut direntang 2000 A hingga 200 kA, yang memberi dampak buruk untuk alat tersebut yang berefek negatif misalnya terbakarnya gedung, atau hilang nyawa atas benda hidup [8]. Petir yang terjadi mempunyai intensitas sambaran yang menyebabkan risiko sambaran di suatu daerah. sehingga bisa diestimasi keperluan bangunan atas Sistem Proteksi Petir. Tingkat keperluan suatu bangunan atas instalasi proteksi petir dipastikan dari besarnya peluang kerugian dan risiko yang terjadi, apabila bangunan tersebut terkena petir. Dari Peraturan Umum Instalasi Penangkal Petir (PUIPP), besarnya keperluan tersebut menjadi acuan menuju total beberapa indeks tertentu yang menggambarkan kondisi bangunan pada suatu tempat seperti penggunaan, konstruksi, tinggi dan situasi bangunan [10]. Pemilihan tingkat proteksi didasarkan SNI 03-7015-2004 yang memuat guna suatu sistem proteksi berlandaskan pada frekuensi sambaran petir langsung menuju lokasi yang diestimasi menuju susunan yang di proteksi (N_d) serta frekuensi sambaran petir pertahun ditempat yang diizinkan (N_c). [11]. Sistem proteksi penangkal petir memiliki 3 bagian yang pertama,

pada terminasi udara, terdapat 2 jenis penangkal petir yang biasa dipakai sehari-hari yaitu, penangkal petir konvensional tongkat franklin yang tergolong penangkal petir paling tua, tetapi tidak jarang juga yang masih memakai sistem tersebut khususnya di beberapa Gedung dengan atap runcing [15]. dan penangkal petir elektrostatis yang mana, perlindungan petir radius dengan memakai konsep kerja elektroskop, elektroda ini dapat aktif mengeluarkan ion menuju udara walaupun tidak terdapat sambaran petir [2]. Yang kedua untuk sistem konduktor penghantar arus petir memiliki fungsi membawa aliran arus petir terkait terminal udara agar disambungkan menuju pentanahan [12]. Dan yang ketiga untuk sistem pentanahan, batang elektrode pentanahan merupakan peralatan yang terbuat dari bahan tembaga, Batang elektrode pentanahan atau arde ini ditanam kedalam tanah dan berfungsi sebagai penyalur arus meneruskan arus petir kedalam bumi dengan tahanan dibawah 5 ohm [16]. Serta metode Sudut merupakan dimensi yang berbentuk kerucut di daerah perlindungan yang sudut derajat dalam perlindungannya dapat ditentukan dengan tingkat proteksi yang telah ditentukan [3].

2. Metode Penelitian

- Alur Penelitian

Pada Penelitian ini dimulai dari kajian literatur, mengumpulkan serta mengolah data, cara yang dilaksanakan dari acuan flowchart.

Alur Penelitian ini mulai dengan Pengambilan Data, yaitu: Data bangunan Gedung, data teknis, dimensi Gedung, panjang, lebar, tinggi, Kerapatan Petir/Data Hari Guruh, Data Spesifikasi Penangkal Petir, Dilanjutkan dengan Analisis Resiko Terjadi Sambaran Petir menurut Standard SNI 03-7015-2004, Dilanjutkan dengan Klasifikasi gedung, Menurut PUIPP dan SNI, Jika gedung membutuhkan Proteksi petir. Pernyataan ya atau Tidak Apabila tidak, maka Klasifikasi gedung selesai, dan tidak perlu proteksi eksternal, Dan apabila ya, maka Klasifikasi gedung Dilanjutkan dengan Menganalisis konduktor arus petir dan terminasi pentanahan, Dan dilanjutkan Menganalisis terminasi udara dengan radius proteksinya menggunakan metode sudut dan bola bergulir, Dilanjutkan Output analisis, serta optimalisasi sistem proteksi penangkal petir pada gedung bertingkat tersebut, dengan membuat Diagram alur demikian, maka Analisis Sistem ini Selesai.

Pada jenis penelitian ini dilakukan dengan metode kuantitatif, yang mana dalam pengolahan dan perhitungan data akan dilakukan terlebih dahulu pengambilan sampel kasus pada gedung Bertingkat, disertai teknik mengumpulkan data yang menggunakan cara pengamatan serta dokumentasi, adapun dari hasil observasi meliputi data bangunan gedung Bertingkat, hari guruh, spesifikasi dan jenis penangkal petir, konduktor penghantar arus petir, serta sistem pentanahan. Setelah melakukan pengumpulan data tersebut, dilakukan untuk menganalisis disertai langkah perbandingan diantara data yang didapatkan dengan kriteria standard yang sudah ditetapkan, yaitu PUIPP tahun 1983 dan SNI 03-7015-2004. Setelah menganalisis tingkatan proteksi, cara berikutnya yakni, melakukan perhitungan radius proteksi dengan metode sudut proteksi. jika output dari analisis data tidak selaras dengan standard dilakukan optimalisasi dilandasi standard yang telah disahkan, agar bangunan seluruhnya dilindungi dengan baik.

3. Hasil Dan Pembahasan

A. Spesifikasi Penangkal petir dan Dimensi Gedung

Data spesifikasi peralatan proteksi penangkal petir eksternal pada Gedung Bertingkat diperoleh dari hasil observasi dengan departemen teknik Gedung Bertingkat tertera pada Tabel 1, berikut:

Tabel 1 Data Spesifikasi Penangkal Petir Gedung Bertingkat

Peralatan	Merk/Tipe	Jenis / Bahan	Spesifikasi		
			Ukuran	Panjang	Jumlah
Teriminal udara	Konvensional	Pasif	-	1 m	1 Unit
Konduktor Penghantar arus petir	Kabel Coaxial	Tembaga (Cu)	35 mm ²	-	2 Unit
Terminasi pentanahan	Elektroda Batang	Tembaga (Cu)	25 mm ²	12 m	2 Unit

Data Hasil Dan Pembahasan Objek berdasarkan dari analisis yang didapatkan dari output pengamatan lapangan, seperti data, objek ilustrasi, serta mengumpulkan dokumentasi instalasi penangkal petir. Data Penelitian Alat Dan Konstruksi Penangkal Petir, Data output analisis yang diperoleh mencakup pendataan dimensi gedung, data spesifikasi penangkal petir terminasi udara, spesifikasi konduktor penghantar arus petir dan spesifikasi sistem pentanahan, antara lain:

Data Dimensi ukuran gedung Nama gedung : Bertingkat Luas atap (Roof Top) : 2315 m ² Panjang atap : 90,80 m Lebar atap : 25,50 m Tinggi gedung : 43 m Luas area gedung : 4620 m ²	Data Spesifikasi Terminasi Udara Jenis penangkal petir: Pasif Tipe/merk : Konvensional Jumlah terminal udara : 1 buah Tinggi tiang pancang : 3 m Panjang terminal udara : 1 m
Data Spesifikasi Konduktor Penghantar Arus Petir Jenis kabel konduktor : Kabel Coaxial Ukuran kabel : 35 mm ² Jumlah penghantar arus petir: 2 buah Jalur penghantar arus petir : Shaft elektrikal Sambungan kabel : Tidak ada	Data Spesifikasi Pentanahan Bahan elektroda : Tembaga yang dilindungi pipa galvanis Panjang elektroda : 6 Diameter elektroda : 25 mm ² Kedalaman elektroda: 12 m Jumlah elektroda : 1 buah Jumlah bak kontrol : 1 buah

B. Taksiran resiko standard PUIPP dan SNI 03-7015-2004

Berikut ini hasil dari taksiran risiko pada gedung Bertingkat mengikuti standard Persyaratan Umum Instalasi Penangkal Petir (PUIPP), antara lain:

a) Indeks A

Dari pemakaian serta muatan isi bangunan, gedung Bertingkat memiliki nilai indeks 3, karena bangunan Gedung dihuni oleh banyaknya orang dengan kegiatan perkantoran dan perkuliahan.

b) Indeks B

Berdasarkan bahaya pada konstruksi bangunan, gedung Bertingkat memiliki nilai indeks 2, karena bangunan gedung disertai konstruksi beton bertulang, kerangka besi serta atap bukan logam.

c) Indeks C

Dari bahaya ketinggian bangunan, gedung Bertingkat memiliki nilai indeks 6, karena bangunan gedung tersebut memiliki ketinggian 43 meter.

d) Indeks D

Berdasarkan bahaya situasi bangunan, gedung Bertingkat memiliki nilai indeks 0, karena bangunan gedung tersebut berada di tanah datar dengan semua ketinggian.

e) Indeks E

Berdasarkan bahaya dari hari guruh, gedung Bertingkat memiliki nilai indeks 7, karena lokasi gedung Bertingkat berada di Jakarta yang memiliki haru guruh dengan rata-rata 193 hari/tahun.

Pada nilai-nilai indeks yang telah dihasilkan, maka nilai indeks R_{in} pada bangunan gedung Bertingkat dihitung dengan persamaan 1, sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 R_{in} &= A + B + C + D + E & (1) \\
 R_{in} &= 3 + 2 + 6 + 0 + 7 \\
 R_{in} &= 18
 \end{aligned}$$

maka perkiraan bahaya akan sambaran petir sangat besar dan untuk pengaman bangunan gedung akan sambaran petir sangat perlu. Untuk mengetahui tingkatan proteksi sambaran petir pada bangunan gedung Bertingkat merujuk dengan SNI 03-7015-2004, yang ditentukan dari data dimensi Gedung dan hari guruh pertahun, antara lain:

- Kerapatan Sambaran Petir (N_g)

$$\begin{aligned}
 N_g &= 4 \times 10^{-2} \times T_d^{1.25} & (2) \\
 N_g &= 4 \times 10^{-2} \times 193^{1.25}
 \end{aligned}$$

Kerapatan sambaran petir ke tanah $N_g = 28.77$ sambaran/km²/tahun

- Area Cakupan Ekivalen (A_e)

$$\begin{aligned}
 A_e &= ab + 6h(a + b) + 9\pi h^2 & (3) \\
 A_e &= (90.80 \times 25.50) + 6 \times 43(90.80 + 25.50) + 9 \times 3.14 \times 43^2
 \end{aligned}$$

$$\text{Luas wilayah } A_e = 84573.54 \text{ m}^2$$

- Jumlah rata-rata frekuensi sambaran petir pertahun (N_d)

$$N_d = N_g \times A_e \times 10^{-6} \tag{4}$$

$$N_d = 28.77 \times 84573.54 \times 10^{-6}$$

Total rata – rata frekuensi sambaran petir langsung $N_d = 2.43$ sambaran/tahun

- Efisiensi sambaran petir η

Untuk menentukan nilai efisiensi pada sambaran petir, nilai frekuensi sambaran petir tahunan (N_c) yang diizinkan 10^{-1} /tahun, maka dari itu perhitungan nilai efisiensi sambaran petir memakai rumus Persamaan 5, dimana:

$$\eta = 1 - \frac{N_c}{N_d} \tag{5}$$

$$\eta = 1 - \frac{0,1}{2.43}$$

$$\eta = 1 - 0,04$$

$$\eta = 0,96$$

$$\eta = 96\%$$

N_c = Frekuensi sambaran petir ditempat yang diizinkan

Berdasarkan hasil dari perhitungan di atas, nilai efisiensi sambaran petir yaitu sebesar 0,96, dimana merujuk pada indeks efisiensi SNI 03-7015-2004 yang tertera di Tabel 2, memperoleh bahwa tingkatan proteksi petir pada bangunan gedung Bertingkat berada di tingkat proteksi I yaitu diantara 95% - 98%.

Tabel 2 Efisiensi Pada Tingkatan Proteksi Penangkal Petir

Tingkat Proteksi	Efisiensi Tingkat Penangkal Petir (E)
I	0,98
II	0,95
III	0,90
IV	0,80

C. Analisis Nilai Ukuran Konduktor Penghantar Arus Petir

Dalam menentukan luas penghantar konduktor turun dari suatu instalasi penangkal petir, dengan arus gangguan sepanjang 0,001 detik, arus petir maksimal untuk tingkat proteksi 1, yaitu 200 kA dan temperature yang terpakai sebesar 1000°C dihitung memakai Persamaan 6, yaitu:

$$A = I_{max} \sqrt{\frac{8.5 \times 10^{-6} \text{Sec}}{\log_{10} \frac{T}{274} + 1}} \tag{6}$$

$$A = 200 \times 10^3 \sqrt{\frac{8.5 \times 10^{-6} \times 0,001}{\log_{10} \frac{1000}{274} + 1}}$$

Luas Penampang Penghantar $A = 22.5 \text{ mm}^2$

I_{max} = arus petir maksimum (A)
 T = Temperatur konduktor ($^{\circ}\text{C}$)

Untuk konduktor penghantar arus petir menggunakan jenis kabel coaxial yang berdiameter 35 mm² dengan ukuran minimal 22.5 mm² sesuai perhitungan analisis, serta dilindungi oleh pipa pvc berdiameter 50 mm² dengan 2 konduktor penghantar, yang mana sudah memenuhi standard dengan minimal 2 buah konduktor.

D. Analisis Nilai Tahanan Pentanahan Elektrode Rod

Untuk mengetahui nilai resistansi pada sistem pentanahan di gedung Bertingkat telah diperoleh data berdasarkan spesifikasi, gambar dan standar tahanan jenis tanah yang di dapat, dimana :

- Panjang Elektroda : 6 m
- Diameter Elektroda : 25 mm²
- Tahanan jenis tanah : 30 Ohm/m
- Kedalaman tancapan elektroda : 12 m

maka dilakukan perhitungan untuk mencari nilai tahanan pentanahan dengan sistem single ground rod menggunakan Persamaan 7, yang mana.[11]:

$$R_x = \frac{\rho}{2\pi L} \left[\ln \left(\frac{4L}{a} \right) - 1 \right] \tag{7}$$

$$R_x = \frac{30}{2 \times 3.14 \times 6} \left[\ln \left(\frac{4 \times 6}{0.025} \right) - 1 \right]$$

$$R_x = \frac{125}{157} \times \ln 960 - 1$$

Tahanan pentanahan elektroda Single Rod $R_x = 4.6 \Omega$

nilai resistansi pentanahan sistem single ground rod sebesar 4.6 Ω , yang mana hampir mendekati standar maksimum yaitu 5 Ω , oleh karena itu harus menerapkan sistem multiple ground rod untuk output tahanan yang lebih kecil agar lebih handal untuk sistem pentanahan ini, maka dilakukan perhitungan untuk mengecilkan nilai tahanan pentanahan dengan sistem multiple ground rod menggunakan Persamaan 8, sebagai berikut:

$$R_t = \frac{\rho}{2\pi L} \frac{\left[\ln \left(\frac{4L}{a} \right) - 1 \right]}{n} \times F \tag{8}$$

$$R_t = \frac{30}{2 \times 3.14 \times 6} \frac{\left[\ln \left(\frac{4 \times 6}{0.025} \right) - 1 \right]}{2} \times 1.16$$

$$R_t = \frac{125}{157} \times \frac{\ln 960 - 1}{2} \times 1.16$$

Tahanan pentanahan elektroda Multiple Rod $R_t = 2.5 \Omega$

- ρ = Tahanan Tipe tanah (Ω m)
- L = Panjang elektroda (m)
- a = Jari-jari elektroda (m)
- N = Total elektroda batang
- F = Faktor perkalian untuk pentanahan multiple ground rod

Dengan jenis pentanahan menggunakan elektroda batang berukuran 6 m dan berdiameter 25 mm² yang dilapisi oleh pipa galvanis dengan memiliki 2 elektroda batang yang ditanam secara multiple rod ini, dari output perhitungan analisis memiliki total nilai hambatan sebesar 2.5 Ω dan pengukuran actual menggunakan earth tester sebesar 1.04 Ω .

E. Analisis Radius Pada Zona Proteksi Terminasi Udara

Tabel 3 Area Proteksi Sesuai Dengan Tingkatan Proteksi

Tingkat Proteksi	h (m)	20	30	46	60	Lebar Mata Jala (m)
	R (m)	α°	α°	α°	α°	
I	20	25	*	*	*	5
II	30	35	25	*	*	10
III	45	45	35	25	*	10
IV	60	55	45	35	25	20

Pada zona radius proteksi dengan metode sudut ini, gedung Bertingkat ini menggunakan sistem penangkal petir tipe konvensional, yang mana untuk mencari zona radius dan derajat sudut proteksi yang ingin diketahui, penelitian yang dilakukan mengacu pada standard SNI 03-7105-2004 yang

tertera di Tabel 3, telah diketahui bahwa output nilai efisiensi sistem penangkal petir yang telah dihitung yaitu 0,96 atau 96%, maka tingkatan proteksi gedung Bertingkat berada di tingkat proteksi I dan dapat dilihat bahwa gedung Bertingkat mempunyai tinggi gedung (h) yaitu 43 m, oleh karena itu, untuk sistem penangkal petir gedung Bertingkat tidak di dapatkan zona radius pada nilai sudut proteksinya. Pada tingkat proteksi 1 dengan mempunyai radius tiap bola bergulir yaitu 20 m maka untuk mencari arus puncak, jarak sambar dan radius wilayah proteksi, dihitung terlebih dahulu besarnya radius dengan mencari besar puncak sambaran arus petir yang diterima gedung Bertingkat, dengan Persamaan 9, sebagai berikut.[12]:

$$R(m) = I^{0,75} \tag{9}$$

$$I = \sqrt[0,75]{\frac{R}{20}}$$

Arus puncak yang terjadi pada sambaran langsung $I = 54.3 \text{ kA}$

R = Radius proteksi(m)

Setelah diketahui puncak arus petir yang diterima, lalu dilakukan perhitungan jarak sambaran petir terhadap bangunan gedung Bertingkat, dengan Persamaan 10, sebagai berikut:

$$r_s = 10 \times I^{0,65} \tag{10}$$

$$r_s = 10 \times 54.3^{0,65}$$

$r_s = \text{Jarak sambaran petir } r_s = 134.15 \text{ m}$

$r_s = \text{Jarak sambaran petir (m)}$

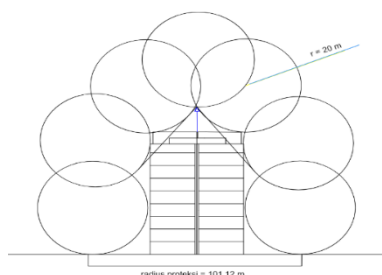
Maka, hubungan jarak sambaran petir terhadap proteksi tinggi Gedung dan tinggi tiang penyangga terminasi udara pada gedung Bertingkat ditentukan dengan radius wilayah proteksi, dihitung menggunakan Persamaan 11, sebagai berikut:

$$R = \sqrt{2r_s h - h^2} \tag{11}$$

$$R = \sqrt{2 \times 134.15 \times 46 - 46^2}$$

Radius proteksi $R = 101.12 \text{ m}$

h = Tinggi gedung (m)



Gambar 1. Radius Bola Bergulir

Berdasarkan perhitungan diatas dengan perhitungan radius bola bergulir terdapat hasil untuk arus puncak pada lokasi setempat yaitu sebesar 54.3 kA, untuk jarak sambaran petir ke gedung Bertingkat yaitu sebesar 134.15 m dan radius proteksi penangkal petir gedung Bertingkat, yaitu sebesar 101,12 m, dalam menyiasati hasil simulasi pada Gambar 1 yang mana tiap sisi ujung atap masih terkena sentuhan permukaan bola bergulir yang berpotensi terkena sambaran pada atap bangunan gedung, maka dapat diketahui untuk mendapatkan nilai sudut proteksi dengan melakukan optimisasi dalam pemilihan penangkal petir dengan menggunakan penangkal petir jenis aktif dengan tipe elektrostatik dengan merk Flash Vectron FV6, berikut spesifikasi penangkal petir jenis aktif, tipe elektrostatik dengan merk Flash Vectron FV6 yang akan digunakan untuk perhitungan sudut proteksinya, tertera di Tabel 4, sebagai berikut:

Tabel 4 Spesifikasi Penangkal Petir Flash Vectron FV6

Spesifikasi	
Jenis penangkal petir	Aktif - Non Radioaktif
Tipe penangkal petir	Elektrostatik
Teknologi	ESE
Negara	Indonesia
Berat	3.5 kg
Kemampuan terima arus sambaran	≤300 kA
Dimensi	280x295mm
Bahan Konduktor	Kabel Coaxial
Dimensi konduktor penghantar arus petir	2x35mm ²
Tahanan Pentanahan	<5 Ω
Standard	SNI

Untuk radius daerah proteksi sesuai dengan ketinggian bangunan gedung Bertingkat yaitu 43 m, maka pembulatan pada radius wilayah proteksi yang didapat yaitu 140 m, dapat dilihat pada Tabel 5 baris nomor 6, sebagai berikut:

Tabel 5 Radius Proteksi Electrostatic Fields Terhadap Tinggi Bangunan

Tinggi Bangunan (m)	Radius Proteksi (m)
5	80
10	100
20	110
30	130
40	130
50	140
60	150
70	160
80	170
90	180
100	190
110	200

F. Menghitung Nilai Sudut Proteksi Dengan Penangkal Petir Jenis Aktif Tipe Elektrostatik Untuk menentukan nilai sudut proteksi aktual dalam perhitungan sudut empiris untuk perbandingan dari standard sudut proteksi pada Electrostatic Field Lightning Protection System, menggunakan Persamaan 11, yang disesuaikan dengan gedung Bertingkat yang mempunyai ketinggian 43 m termasuk tinggi tiang penyangga terminasi udara yang terpasang setinggi 3 m, sebagai berikut [2]:

$$\angle a^\circ = \sin^{-1} \left(1 - \frac{h}{r_x} \right) \tag{11}$$

$$\angle a^\circ = \sin^{-1} \left(1 - \frac{46}{140} \right)$$

$$\angle a^\circ = \sin^{-1}(0.532)$$

Sudut proteksi $\angle a^\circ = 42.06^\circ$

h = Tinggi tiang penyangga penangkal petir dari permukaan tanah (m)
r_x = Radius proteksi elektrostatik (m)

Berdasarkan hasil perhitungan diatas menyatakan nilai untuk sudut proteksinya yaitu 42.06°, dan untuk luas radius proteksinya yang tertera pada Tabel 5 adalah 140 m, maka menghitung luas daerah proteksinya dengan Persamaan 12, sebagai berikut:

$$A_x = \pi \times r_x^2 \tag{12}$$

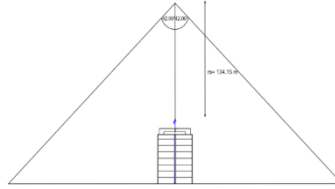
$$A_x = 3.14 \times (140^2)$$

$$A_x = 3.14 \times 19600$$

Luas daerah proteksi $A_x = 61544 \text{ m}^2$

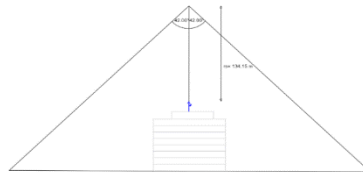
r_x = Radius proteksi elektrostatik (m)

Maka, untuk hasil simulasi dari perhitungan metode sudut proteksi serta radius proteksinya, dikaji dalam Gambar 2, Gambar 3 dan Gambar 4, sebagai berikut:

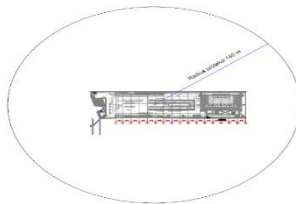


Gambar 2. Sudut Proteksi Terminasi Udara Jenis Aktif Tipe Elektrostatis Sisi Depan

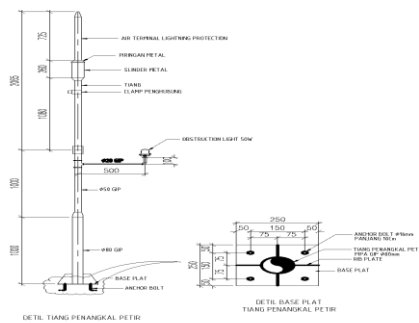
Dari output perhitungan sudut proteksi dan luas wilayah proteksi menggunakan penangkal petir jenis aktif tipe elektrostatis dengan merk Flash Vectron FV6, didapatkan output sudut proteksi dengan nilai 42.06° dengan radius proteksinya yaitu sebesar 140 m dengan jarak sambaran petir terhadap bangunan setinggi 134.15 m, yang mana sudah mampu memproteksi bangunan gedung Bertingkat dengan baik



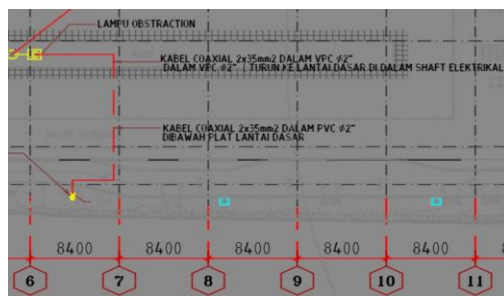
Gambar 2. Sudut Proteksi Terminasi Udara Jenis Aktif Tipe Elektrostatis Sisi Samping



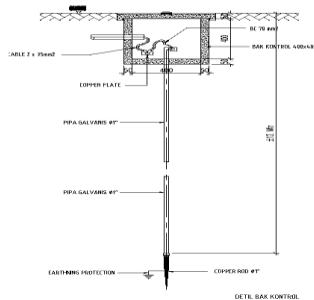
Gambar 4. Radius Proteksi Terminasi Udara Jenis Aktif Tipe Elektrostatis Sisi Atas (Roof Top)



Gambar 5. Struktur Penangkal petir



Gambar 6. Konduktor Penghantar Arus Petir



Gambar 1. Struktur Sistem Pentanahan

4. Kesimpulan

Berdasarkan output dari penelitian yang dilakukan, maka dapat disimpulkan dari taksiran risiko sambaran petir terhadap sistem proteksi penangkal petir di gedung Bertingkat dari PUIPP dengan hasil nilai indeks R_{in} sebesar 18, untuk Standard Nasional Indonesia (SNI) 03-7015-2004 dan untuk rata-rata frekuensi sambaran tahunan (N_d) sebesar 2.43 sambaran/tahun serta nilai efisiensi pada sambaran petir sebesar 0,96 atau 96%, dengan tingkat proteksi I. Untuk minimal diameter luas penampang pada konduktor penghantar arus petir $22,5 \text{ mm}^2$, dimensi konduktor penghantar arus petir yang terpasang berupa 2 kabel coaxial berdimensi 35 mm^2 . Untuk sistem pentanahan, nilai tahanan elektroda batang 1, yaitu 1,06 Ohm dan nilai tahanan elektroda batang 2, yaitu 1,02 Ohm, untuk nilai tahanan minimal sistem multiple ground rod sebesar 2,5 Ohm. Output analisis metode sudut proteksi tidak di dapatkan sudut proteksinya dibandingkan dengan perhitungan radius bola bergulir dengan jari-jari bola yaitu, 20 m dan wilayah proteksinya 101,12 m. mengingat tingkat proteksi I dan ketinggian bangunan (h) terminasi udara tipe konvensional tidak disarankan untuk bangunan ini, dan untuk sistem terminasi udara dari hasil optimalisasi yang diperoleh pada pangkal petir jenis aktif tipe elektrostatis dengan jari-jari radius 140 m, dengan metode sudut didapatkan sudut α , $\angle \alpha$ sebesar $\angle 42.06^\circ$ dengan jarak sambaran petir terhadap bangunan setinggi 134.15 m, dimana cukup untuk melindungi area bangunan pada gedung Bertingkat.

5. Refrensi

- [1] P. D. R. Zoro, *Sistem Proteksi Petir Pada Sistem Tenaga Listrik*, 1 ed. Bandung: PT Remaja Rosdakarya, 2018.
- [2] O. Sri Rizares, A. Trihasto, dan A. Agung Kurniawan, "Perencanaan Sistem Proteksi Petir di Pabrik Pengolahan Getah Karet Afdeling Cikukun," *J. Ilm. Multidisiplin*, vol. 3, no. 1, hal. 23–34, 2023.
- [3] B. Saragih, J. M. Siburian, dan J. L. Purba, "Sistem Penangkal Petir Pada Gedung Kemang Gallery Medan," *J. Teknol. Energi UDA, J. Tek. Elektro*, vol. 9, no. 1, hal. 44–61, 2020.
- [4] PUIPP, "Peraturan Umum Instalasi Penangkal Petir (PUIPP) untuk Bangunan di Indonesia," in *Direktorat Penyelidikan Masalah Bangunan*, vol. 1, Bandung: Departemen Pekerjaan Umum, 1983, hal. 66.
- [5] SNI, "Sistem Proteksi Petir Pada Bangunan Gedung," in *Standar Nasional Indonesia 03-7015-2004*, Badan Standarisasi Nasional, 2004, hal. 112.
- [6] R. Ariesta, D. Despa, H. Gusmedi, dan L. Hakim, "Studi Analisis Sistem Pentanahan Eksternal Pada Gedung Unit Pelaksana Teknis Teknologi Informasi Dan Komunikasi Universitas Lampung," *J. Inform. dan Tek. Elektro Terap.*, vol. 3, no. 3, hal. 1–5, 2015.
- [7] N. Naibaho dan A. I. Sofiyon, "Analisa Sistem Proteksi Petir Eksternal Tipe Elektrostatis di PT. Pamapersada Nusantara Distrik CCOS Cileungsi – Bogor," *J. Ilm. Elektrokrisna*, vol. 9, no. 2, hal. 112–125, 2021.
- [8] U. Mulyadi, E. Ervianto, dan E. Hamdani, "Kajian Perancangan Sistem Penangkal Petir Eksternal Pada Gedung Pusat Komputer Universitas Riau," *J. Online Mhs. Fak. Tek. Univ. Riau*, vol. 1, no. 2, hal. 1–10, 2014.
- [9] G. Suprijono, "Sistem Proteksi Petir Dan Sistem Grounding Pada Instalasi Vital Di PT. TELKOM Tegal," *Power Elektron. J. Orang Elektro*, vol. 4, no. 2, hal. 50–53, 2015.

- [10] A. Karta, A. Imam, M. Widyartono, dan A. Chandra, "Analisis Kebutuhan Sistem Proteksi Sambaran Petir Pada Gedung Bertingkat," *J. Tek. Elektro*, vol. 9, no. 3, hal. 773-780, 2020.
- [11] Elliot Rappaport dan D. C. Mohla, *IEEE Std 142TM-2007 Recommended Practice for Grounding of Industrial and Commercial Power Systems*. New York: Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc., 2007.
- [12] Karsun, O. A. Rozak, dan M. Z. Ramadhan Nurhadi, "Penggunaan Elektrostatis Sebagai Proteksi Petir Plts on-Grid Pada Gedung B Universitas Pamulang," *J. Inform. dan Tek. Elektro Terap.*, vol. 11, no. 3 s1, hal. 1087-1092, 2023.