

# Perancangan Sistem Proteksi Eksternal Penyalur Petir di Workshop PT. Bukaka Teknik Utama Balikpapan

Dimas Pangestu Danar P<sup>1</sup>, Mayda Waruni Kasrani<sup>2</sup>, A. Asni B<sup>3</sup>

<sup>1,2,3</sup> Teknik Elektro, Fakultas Teknologi Industri Universitas Balikpapan  
Jln. Pupuk Raya Gn. Bahagia Balikpapan 76114 INDONESIA  
Email: <sup>1</sup>dimas\_pangestu@outlook.com

*Abstract- PT Bukaka Teknik Utama is currently building a fairly spacious workshop building with a length of 60m, a height of 15m and a width of 20m which almost the entire building is made of steel. Considering that thunder days in the city of Balikpapan are quite high, which is as high as 227 per year, the building is vulnerable to lightning strikes. Therefore, to avoid the impact of the lightning strike effect, an external lightning protection system is needed. The method to be used in determining lightning protection is the rolling ball method. Because the shape of the building has a horse gable type the protection level is at level IV with a protection radius of 100.9m and is able to protect lightning currents up to 234.89 kA. After simulation using Sparkta software, the standard rolling ball method NFPA 780 and BS 7430 obtained detailed risk assessment calculation results which are quite safe.*

**Abstrak- PT Bukaka Teknik Utama sedang melakukan pembangunan gedung workshop yang cukup luas dengan panjang 60m, tinggi 15m dan lebar 20m yang hampir keseluruhan bangunan terbuat dari baja. Mengingat hari guruh di kota Balikpapan yang cukup tinggi yaitu sebanyak 227 per tahun, maka gedung tersebut rentan akan sambaran petir. Oleh karena itu untuk menghindari dampak dari efek sambaran petir diperlukan sistem proteksi petir eksternal. 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 Assesstment yang cukup aman.**

**Kata Kunci:** Bola Begulir, Sistem Proteksi Petir, Sparkta.

## I. PENDAHULUAN

Salah satu cara untuk melindungi bangunan tinggi dari sambaran petir adalah dengan instalasi atau pemasangan penangkal petir yang andal, sehingga jika terjadi sambaran petir maka instalasi ini yang akan menyalurkan arus petir kedalam tanah. Sistem Proteksi Petir eksternal merupakan sebuah rangkaian sistem perlindungan bagian luar untuk melindungi sebuah obyek dari bahaya sambaran petir secara langsung atau bahaya sambaran energi utama dari petir, proteksi eksternal yang dikenal masyarakat luas dengan istilah penangkal petir, anti petir atau penyalur petir.

Penentuan kebutuhan suatu daerah akan proteksi penangkal petir yaitu perhitungan dengan memakai data hari guruh, data ukuran bangunan, area proteksi, frekuensi sambaran langsung

setempat (Nd), dan frekuensi sambaran tahunan, dengan terlebih dahulu menghitung kerapatan sambaran ke tanah (Ng).

Kerapatan sambaran petir ke tanah (Ng) dipengaruhi oleh hari guruh di daerah tersebut. Adapun jumlah hari guruh yang terdapat di Kalimantan yaitu kurang lebih 227 hari guruh (Sumber: BMKG).

Seiring perkembangan zaman melalui riset dan penelitian ditemukanlah salah satu teori dan metoda yang digunakan hingga saat ini untuk menentukan penempatan terminasi udara atau *Air Terminal* serta untuk mengetahui area perlindungan yaitu metoda bola bergulir (*Rolling Sphere Method*). Metode ini sangat baik dipergunakan pada bangunan/*workshop* yang bentuknya rumit, menggunakan metode ini seolah-olah ada suatu benda berbentuk bola dengan radius R yang bergulir diatas struktur bangunan serta sekeliling struktur ke segala arah hingga bertemu dengan tanah atau struktur bangunan yang berhubungan dengan bumi serta dapat bekerja menjadi penghantar yang baik.

Metodologi desain menggunakan Sparkta adalah proses berulang yang terdiri dari penambahan terminal udara hanya pada titik-titik yang memiliki kemungkinan sambaran petir terbesar. Setiap kali, pengguna menambahkan hanya satu atau beberapa terminal udara dan mengevaluasi risikonya. Proses selesai ketika komponen risiko kurang dari nilai yang dapat ditoleransi. Program ini memungkinkan analisis perlindungan yang diberikan tidak hanya oleh terminal udara tetapi juga untuk elemen lain seperti atap metalik, cerobong asap, dan lain-lain.

## II. TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1 Standar Desain Perhitungan Lightning Protection

Badan standar nasional amerika telah memberikan persetujuannya terhadap standar NFPA, yang dibuat melalui proses menghasilkan standar konsekuensi. Relawan yang mewakili berbagai kepentingan dan sudut pandang terlibat dalam proses ini untuk mencapai hasil terkait kebakaran dan masalah keselamatan lainnya. Meskipun sedang dikembangkan, proses pemrosesan dan pembuatan regulasi tidak secara independen menguji, meninjau atau memvalidasi keamanan dan keakuratan informasi dari setiap evaluasi yang dibuat dalam standar NFPA. NFPA mengadopsi standar proteksi petir untuk struktur pertama kali pada tahun 1904, dan diperbarui pada tahun 2020 untuk meningkatkan keamanan proteksi.

### 2.2 Tingkat Proteksi Petir

Parameter petir menyatakan karakteristik atau penggambaran petir itu sendiri. Parameter-parameter tersebut antara lain : kerapatan sambaran petir, frekuensi sambaran petir per tahun, dan arus puncak.

- a. Kerapatan sambaran petir ( $N_g$ )
- b. Frekuensi sambaran petir per tahun ( $N_d$ )
- c. Arus puncak ( $I_{max}$ )
- d. Luas daerah yang masih memiliki angka sambaran petir ( $A_e$ )

Tabel 1. Parameter Petir

(Sumber: SNI 03-7015-2004, Sistem Proteksi Petir pada Bangunan Gedung, Agustus, 2006)

PARAMETER PETIR		TINGKAT PROTEKSI		
		I	II	III - IV
Nilai Arus Puncak	I (KA)	200	150	<b>100</b>
Muatan Total	$Q_{total}$ (C)	300	225	150
Muatan Impuls	$Q_{impulse}$ (C)	100	75	50
Energi Spesifik	W/R (KJ/ $\Omega$ )	100000	5600	2500
Kecuraman Rata - rata	di / dt 30 / 90%	200	150	100
	(KA / $\mu$ s)			

2.3 Hari Guruh

Hari guruh merupakan banyaknya hari dimana terdengar Guntur paling sedikit satu kali dalam jarak kira – kira 15 km dari stasiun pengamatan. Hari guruh yang tinggi memungkinkan banyak terjadinya bahaya dan kecelakaan dari dampak sambaran petir.

Tabel 2. Hari Guruh rata-rata per tahun dan IKL di beberapa kota di Kalimantan

(Sumber: BSN, Sistem Proteksi Petir pada Bangunan Gedung, SNI 03-7015-2004 )

Lokasi	Hari Guruh rata – rata per tahun	IKL (Isokeraunik Level)	Tingkat Kerawanan Petir
<b>Balikpapan</b>	<b>227</b>	<b>62,10</b>	<b>Tinggi</b>
Banjarmasin	85	23,18	Rendah
Kotabaru	58	15,89	Rendah
Paloh	188	51,56	Tinggi
Pangkalan Bun	237	65,04	Tinggi
Palangkaraya	298	81,68	Tinggi
Pontianak	219	60,00	Tinggi
Samarinda	172	47,06	Sedang
Tanjung Selor	88	24,20	Rendah

Pada fenomena petir intensitas sambaran harus selalu diamati disetiap periode untuk dapat menganalisa factor resiko sambaran pada suatu daerah sehingga, dapat diaplikasikan sistem proteksi petir. Adapun hal-hal yang diperlukan untuk memperkirakan factor sambaran ialah:

- 1. IKL (*Isokeraunic Level*) : jumlah hari sambaran per/tahun
- 2. *Lightning Strike Rate* : jumlah sambaran ke tanah per km<sup>2</sup> per/tahun.

*Lightning strike rate* / curah petir menentukan tingkat bahaya sambaran pada suatu wilayah dan besarnya ditentukan oleh isokeraunik level.

III. METODE PERHITUNGAN

A. Menentukan Tingkat Proteksi Petir

Untuk menentukan tingkat pada proteksi petir maka terlebih dahulu menghitung kerapatan sambaran petir ( $N_g$ ):

$$N_g = \frac{0,04 \cdot T_d^{1,25}}{km^2} / km^2 / tahun \dots\dots\dots (1)$$

Dimana :

$T_d$  = Hari guruh rata – rata per tahun di daerah yang akan di proteksi

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

Kemudian untuk mencari luas daerah yang masih memiliki angka sambaran petir sebesar  $N_d$  (km<sup>2</sup>) dengan persamaan berikut:

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

Dimana :

$A_e$  = Luas daerah yang masih memiliki angka sambaran petir sebesar  $N_d$  (km<sup>2</sup>)

$a$  = Panjang atap bangunan (m)

$b$  = Lebar atap bangunan (m)

$h$  = Tinggi atap bangunan (m)

Kemudian mencari nilai frekuensi sambaran petir ( $N_d$ )

$$N_d = N_g \cdot A_e \cdot 10^{-6} / tahun \dots\dots\dots (3)$$

Dimana:

$N_d$  = Frekuensi sambaran petir per tahun

$A_e$  = Luas daerah yang masih memiliki angka sambaran petir sebesar  $N_d$  (km<sup>2</sup>)

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

$N_c$  = Ketetapan 10<sup>-6</sup>

Penentuan tingkat proteksi petir bangunan berdasarkan perhitungan  $N_d$  dan  $N_c$ , dilakukan sebagai berikut:

a. Jika  $N_d \leq N_c$  tidak di perlukan sistem proteksi

b. Jika  $N_d \geq N_c$  di perlukan sistem proteksi

Jika perhitungan di dapatkan  $N_d \geq N_c$  maka nilai afisiensi:

$$E = 1 - \frac{N_c}{N_d} \dots\dots\dots (4)$$

Dimana :

$E$  = Efisiensi sistem proteksi petir

$N_d$  = Frekuensi sambaran petir langsung ke tanah

$N_c$  = Frekuensi sambaran petir tahunan setempat yang di perbolehkan 10<sup>-6</sup>

$r_s$  = Hubungan beras arus dan sambaran petir

Kemudian tingkat proteksinya dapat dikaitkan dengan melihat nilai efisiensinya pada tabel berikut:

Tabel 3. Efisiensi Sistem Proteksi Petir  
(Sumber: NFPA 780, 2020, std Lightning Protection System)

Tingkat Proteksi	Efisiensi SPP (E)	R (m)
I	0,98	20
II	0,95	30
III	0,90	45
IV	0,80	<b>60</b>

**B. Menghitung Arus Puncak**

Radius proteksi dari bola bergulir ditentukan oleh tabel 3, untuk tingkat proteksi level IV radius proteksinya adalah sebesar 60 m dan arus puncaknya (I) dapat di cari dengan persamaan:

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

$$I = \sqrt[0,75]{R} \dots \dots \dots (5)$$

Menghitung luas daerah proteksi Menggunakan Bola Bergulir, dengan parameternya yaitu :

a. jarak sambaran  
Jarak sambaran dapat di tentukan dengan persamaan

$$d_s(m) = 10 \cdot I^{0,65} \dots \dots \dots (6)$$

b. radius proteksi  
Radius proteksi pada bola gulir dapat menggunakan persamaan

$$R (m) = \sqrt{h_1(2d_s - h_1)} \dots \dots \dots (7)$$

c. Luas Radius Perlindungan Bangunan

$$A = \pi \cdot R^2 \dots \dots \dots (8)$$

- Dimana:
- R = Radius proteksi bola gulir
  - d = jarak sambar petir (m)
  - h<sub>1</sub> = tinggi total penangkal petir (m)

**C. Menghitung Tahanan Sistem Pembumian**

Pembumian terbagi atas elektroda batang, elektroda pita, dan elektroda pelat/ plat. Untuk menghitung tahanan pembumian yaitu sebagai berikut:

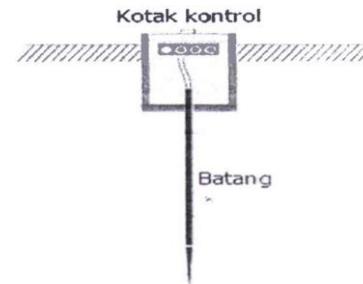
Tabel 4. Untuk Elektroda Vertikal dalam Kotak Berongga  
(Sumber: BS7430 Code of Practice For Earthing)

Jumlah elektroda (n) Sepanjang sisi persegi	Faktor λ	Jumlah elektroda (n) Sepanjang Sisi Persegi	Faktor λ
2	2,71	9	7,65
3	4,51	10	7,90
<b>4</b>	<b>5,48</b>	12	8,22
5	6,14	14	8,67
6	6,63	16	8,95
7	7,03	18	9,22
8	7,30	20	9,40

Catatan : Jumlah elektroda N di sekitar bujur sangkar adalah 4(n-1)

Elektroda dari pipa atau besi baja profil yang dipancangkan ke dalam tanah biasa disebut dengan elektroda batang, merupakan elektroda yang pertama kali digunakan dan teori-

teori berawal dari elektroda jenis ini. Elektroda ini banyak dipergunakan pada gardu induk. Secara teknis, elektroda jenis ini mudah pemasangannya dan tidak memerlukan lahan yang luas. Elektroda batang umumnya ditanam pada kedalaman yang cukup dalam.



Gambar 1. Batang [Sumber: : Endi Sopyandi, 2012]

Rumus tahanan pentanahan elektroda batang tunggal:

$$R = \frac{\rho}{2\pi L} \left\{ \ln \frac{4L}{\alpha} - 1 \right\} \dots \dots \dots (9)$$

- Keterangan :
- R = Tahanan Pertahanan Batang Tunggal (Ω)
  - ρ = Tahanan Jenis Tanah (Ω Meter)
  - L = Panjang Elektroda (m)
  - α = Diameter Elektroda (m)

**IV. ANALISA PERHITUNGAN**

Penentuan kebutuhan suatu daerah akan proteksi penangkal petir yaitu perhitungan dengan memakai data hari guruh, data ukuran bangunan, area proteksi, frekuensi sambaran langsung setempat (Nd), dan frekuensi sambaran tahunan, dengan terlebih dahulu menghitung kerapatan sambaran ke tanah (Ng).

Tabel 4. 1 Denah Workshop PT Bukaka Teknik Utama

Tipe Bangunan	Panjang (m)	Lebar (m)	Tinggi (m)	Luas (m <sup>2</sup> )
Workshop	60	20	15	18.000

Kerapatan sambaran petir ke tanah (Ng) dipengaruhi oleh hari guruh di daerah tersebut. Adapun jumlah hari guruh yang terdapat di Kalimantan yaitu kurang lebih 227 hari guruh (Sumber: BMKG).

Maka kerapatan sambaran petir ke tanah (Ng) dapat dihitung dengan persamaan (1) :

$$Ng = 4 \cdot 10^{-2} \cdot Td^{1,27}$$

$$Ng = 4 \cdot 10^{-2} \cdot 227^{1,27}$$

$$Ng = 0,04 \times 227^{1,27}$$

$$Ng = 39,28 \text{ Sambaran/km}^2/\text{tahun}$$

Sedangkan luas daerah permukaan tanah yang dianggap mempunyai frekuensi sambaran langsung tahunan dapat dihitung dengan persamaan (2) :

$$P = 60 \text{ m (a)}$$

$$L = 20 \text{ m (b)}$$

$$T = 15 \text{ m (h)}$$

$$Ae = a \cdot b + 6 \cdot h \cdot (a + b) + 9 \pi h^2$$

$$Ae = 60 \cdot 20 + 6 \cdot 15 \cdot (60 + 20) + 9 \cdot 3,14 \cdot 15^2$$

$$Ae = 1200 + 7200 + 6358,5$$

$$Ae = 14.758,5 \text{ m}^2$$

Sedangkan cara untuk menghitung jumlah rata – rata frekuensi sambaran petir langsung per tahun (Nd) dapat dicari dengan persamaan (3):

$$Nd = Ng \cdot Ae \cdot 10^{-6}$$

$$Nd = 39,28 \cdot 14.758,5 \cdot 10^{-6}$$

$$Nd = 0,58 \text{ sambaran petir per/tahun}$$

Dimana :

- A = Panjang bangunan (m)
- B = Lebar bangunan (m)
- H = Tinggi bangunan (m)
- Td = Hari guruh rata – rata pertahun
- Ng = Kerapatan sambaran petir ke tanah (sambaran/km<sup>2</sup>/tahun)
- Ae = Luas daerah yang masih memiliki angka sambaran petir sebesar Nd (km<sup>2</sup>)
- Nd = Frekuensi sambaran petir langsung per tahun
- Nc = Ketetapan (10<sup>-1</sup>)

Frekuensi sambaran petir tiap tahun (Nc diketahui bernilai 10<sup>-1</sup>) yang diperbolehkan. Penentuan tingkat proteksi pada bangunan berdasarkan perhitungan Nd dan Nc dilakukan sebagai berikut :

- a. Jika  $Nd \leq Nc$  tidak perlu sistem proteksi petir.
- b. Jika  $Nd \geq Nc$  diperlukan sistem proteksi petir.

Dikarenakan dalam perhitungan  $Nd \geq Nc$ , maka nilai efisiensi dengan persamaan(4):

$$E \geq 1 - \frac{Nc}{Nd}$$

$$E \geq 1 - \frac{10^{-1}}{0,58}$$

$$E \geq 1 - \frac{0,1}{0,58}$$

$$E \geq 0,82$$

$$E \geq 80$$

$$E \geq 80\%$$

Dimana :

- E = Efisiensi sitem proteksi petir
- Nd = Frekuensi sambaran petir langsung per/tahun
- Nc = Frekuensi sambaran petir tahunan setempat yang diperbolehkan (10<sup>-1</sup>)

Dimana hubungan antara nilai E (efisiensi) dengan tingkat proteksi sesuai tabel 3.1 maka dengan demikian nilai E sebesar 0,80 berada pada tingkat proteksi IV dengan nilai efisiensi diantara 80% - 90%. Oleh karena itu *workshop* PT Bukaka memerlukan SPP minimal tingkat proteksi dengan level IV.

Pada metode bola bergulir ini, radius proteksi dari bolah bergulir telah diketahui melalui tabel 3.1, yaitu untuk tingkat proteksi level IV radius proteksinya adalah sebesar 60 m dan untuk arus puncaknya (I) dapat dicari dengan standar NFPA780 Metode Bola Bergulir dengan menggunakan persamaan(5):

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

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

$$I = \sqrt[0,75]{60}$$

$$I = 234,89 \text{ kA}$$

Dapat dikatakan bahwa gedung tersebut dapat menangkap petir dengan arus puncak minimal 234,89 kA. Bila petir dengan arus dibawah nilai 234,89 kA tersebut maka gedung masih dapat bertahan namun jika nilai arus petir diatas 234,89 kA akan ditangkap oleh penyalur petir.

Jarak sambar (ds) terhadap bangunan dapat dihitung dari persamaan yang banyak digunakan yaitu sebagai berikut:  
 $ds = 10 \cdot I^{0,65}$

Dengan menggunakan asumsi hasil perhitungan parameter arus petir dimana harga arus puncak petir (I) minimal sebesar 234,89 kA untuk proteksi level IV, maka dengan persamaan (6) :

Diperoleh jarak sambar (ds) :

$$ds = 10 \times 234,89^{0,65}$$

$$ds = 347,5 \text{ m}$$

Pada gedung PT Bukaka secara teoritis bangunan *workshop* masih aman dari bahaya sambaran langsung petir. Dengan tinggi bangunan (*workshop*) 15 m, maka dapat dicari sudut perlindungan penangkal petir menara terhadap gedung (*workshop*) menggunakan persamaan sudut lindung untuk  $h < rs$  maka didapat perlindungan terhadap *workshop* sebagai berikut :

Dan panjang radius proteksi bola bergulirnya menggunakan persamaan(7):

$$R = \sqrt{h_1(2d_s - h_1)}$$

$$R = \sqrt{15(2 \times 347,5 - 15)}$$

$$R = \sqrt{15(680)}$$

$$R = \sqrt{10.200}$$

$$R = 100,9 \text{ m}$$

Dengan begitu luas radius perlindungan bangunan *workshop* adalah dengan persamaan(8) :

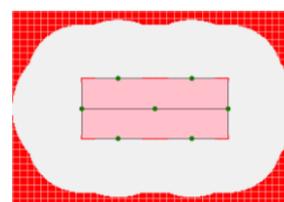
$$A = \pi \cdot R^2$$

$$A = 3,14 \cdot 100,9^2$$

$$A = 3,14 \cdot 10180,81$$

$$A = 31967,74 \text{ m}^2$$

Dengan perhitungan diatas, maka  $R = 100,9 \text{ m}$  untuk bangunan dengan panjang 60 m, membutuhkan 7 *Splitzen* atau *air terminal*. Dengan 3 *Air Terminal* utama pada perhitungan dan 4 tambahan Terminal Udara setelah dilakukan simulasi menggunakan program *Sparkta Lightning Protection*.



Gambar 2. Sistem Proteksi Bola Bergulir [Sumber: Sparkta]

Pada gedung PT Bukaka sistem pentanahan dengan cara menanamkan elektroda batang (pentanahan tunggal), sehingga tahanannya dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut :

Perhitungan *Single Rod* Elektroda menggunakan persamaan(9):

$$R = \frac{\rho}{2\pi L} \left\{ \ln \frac{4L}{\alpha} - 1 \right\}$$

$$R = \frac{100}{2.3,14 \cdot 6} \left\{ \ln \frac{4.6}{0,01905} - 1 \right\}$$

$$R = 2,65 \times (2,53 - 1)$$

$$R = 2,65 \times (1,53)$$

$$R = 4,05 \Omega$$

Dimana :

- R = Tahanan pasak ke tanah ( $\Omega$ )
- $\rho$  = Tahanan tanah rata – rata ( $\Omega$ - cm)
- L = Panjang pasak ke tanah (cm)
- $\alpha$  = Jari – jari penampang pasak (cm)

Perhitungan *Multi Rod* Elektroda dengan standar BS740 :

$$R = R \left( \frac{1 + \lambda \alpha}{n} \right) \dots \dots \dots (10)$$

Dimana :

- R = Tahanan pasak ke tanah ( $\Omega$ )
- S = Jarak antar batang (m)
- $\rho$  = Resistivitas tanah ( $\Omega$  m)
- n = Jumlah titik rod
- $\lambda$  = Faktor dari tabel 3.2

$$\alpha = \frac{\rho}{2\pi R S} \dots \dots \dots (11)$$

$$\alpha = \frac{100}{2.3,14 \cdot 4,05 \cdot 60}$$

$$\alpha = 0,065$$

Elektroda *hollow square* :

- $\rho$  = 100  $\Omega$ m
- s = 60 m
- n = 4 point rod
- $\lambda$  = 5,48
- R = 4,05

$$\alpha = \frac{100}{2.3,14 \cdot 4,05 \cdot 60}$$

$$\alpha = 0,065$$

$$Rn = 4,05 \left( 1 + \left( \frac{5,48 \cdot 0,065}{4} \right) \right)$$

$$Rn = 4,05 \times 0,33$$

$$Rn = 1,3 \Omega$$

$$\text{Total rod yang digunakan} = 4 (n - 1)$$

$$= 4 (4 - 1)$$

$$= 12 \text{ unit}$$

$$\text{Total rod per titik} = 12/4$$

$$= 3 \text{ rod/titik}$$

Maka jatuh tegangan pada elektroda yang terhubung pada gedung workshop PT Bukaka pada saat terjadinya sambaran petir adalah :

$$V = I_{\text{petir}} \times Rn$$

$$V = 234,89 \text{ kA} \times 1,3 \Omega$$

$$V = 305,357 \text{ kV}$$

Tegangan sebesar ini cukup berbahaya bila hanya terkumpul disuatu titik tanah.

*A. Perhitungan Rencana Anggaran Biaya (RAB) Kebutuhan Material Penyalur Petir Metoda Bola Bergulir*

Setelah mengetahui hasil kebutuhan material penyalur petir melalui beberapa metode tersebut langkah selanjutnya adalah melakukan Perhitungan Rencana Anggaran Biaya (RAB) sebagai proses lanjutan dalam melakukan perencanaan sistem penyalur petir.

**Tabel 5.** Rencana Anggaran Biaya Kebutuhan Material Penyalur Petir Metoda Bola Bergulir dengan kebutuhan Elektroda Pentanahan Hollow Square

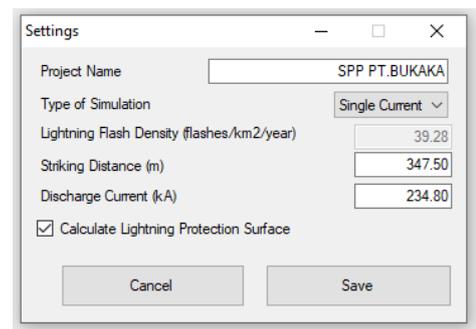
Nama Barang	Jumlah Barang	Harga Barang	Jumlah
Air Rod/Splitzen Tombak	7 ea	Rp100.000/pcs	Rp700.000
Konduktor/Kabel BC	228 m-run	Rp70.000/m	Rp15.960.000
Elektroda Batang	12 ea	Rp750.000/pcs	Rp9.000.000
Control Box	4 ea	Rp350.000/pcs	Rp1.400.000
Pipa Galvanis 3/4"	3 ea	Rp120.000/pcs	Rp360.000
Aksesoris	1 lot	Rp1.000.000/lot	Rp1.000.000
TOTAL			Rp 28.060.000

*B. Simulasi Desain Sistem Penyalur Petir dengan Program Sparkta Lightning Protection*

Metodologi desain menggunakan Sparkta adalah proses berulang yang terdiri dari penambahan terminal udara hanya pada titik-titik yang memiliki kemungkinan sambaran petir terbesar. Setiap kali, pengguna menambahkan hanya satu atau beberapa terminal udara dan mengevaluasi risikonya. Proses selesai ketika komponen risiko kurang dari nilai yang dapat ditoleransi. Program ini memungkinkan analisis perlindungan yang diberikan tidak hanya oleh terminal udara tetapi juga untuk elemen lain seperti atap metalik, cerobong asap, dan lain-lain.

Membuat Proyek menggunakan perangkat lunak Sparkta. Caranya antara lain sebagai berikut :

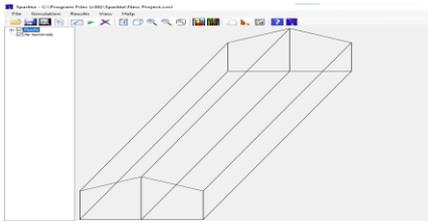
1. Memilih jenis simulasi dan mengatur parameternya  
Masuk ke menu *tool bar new project*, pilih *setting* lalu mengisi parameternya serta masukkan data kerapatan sambaran petir dan *discharge current*.



Gambar 3. Pemilihan Tipe Simulasi [Sumber: *Software Sparkta*]

2. Menampilkan pemilihan desain bangunan dalam tampilan 3D

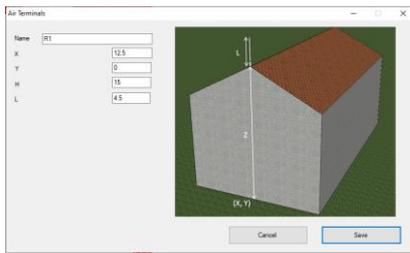
Pada menu *roof* (klik kanan) kemudian pilih tipe bangunan yang akan dilakukan simulasi (tipe pelana kuda).



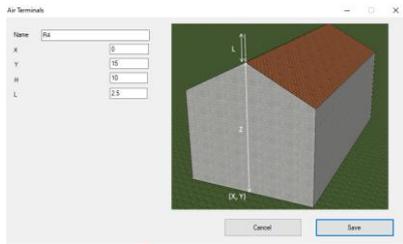
Gambar 4. Pemilihan Desain Bangunan [Sumber: Sparkta]

3. Menambahkan *Air Terminals* struktur dan mengatur parameternya

Pada menu *air terminal* masukkan semua parameter dan posisi terminal udara sesuai dengan hasil yang diperoleh dari persamaan(8).



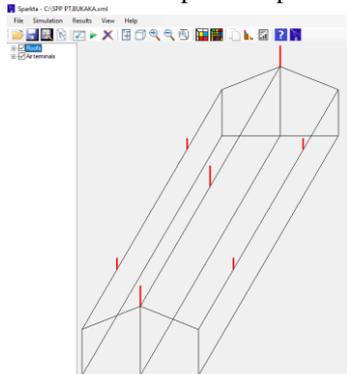
Gambar 5. Pemilihan Penempatan *Air Terminals* R1-R3 [Sumber: Sparkta]



Gambar 6. Pemilihan Penempatan *Air Terminals* R4-R7 [Sumber: Sparkta]

4. Menampilkan hasil rencana proyek dalam tampilan 3D

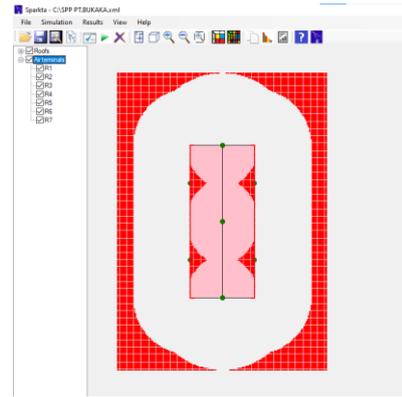
Setelah semua data terminal udara dimasukkan kemudian pada menu *toolbar* pilih tampilan 3D.



Gambar 7. Hasil Penempatan *Air Terminal* R1-R7 [Sumber: Sparkta]

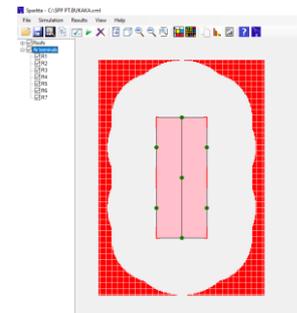
5. Menjalankan Simulasi

Pada gambar dibawah ini menunjukkan simulasi dengan hanya menampilkan 3 terminal udara sesuai dengan perhitungan persamaan(8) dan menunjukkan bahwa dibutuhkan 4 titik terminal udara yang harus ditambahkan pada sisi kanan dan kiri atap bangunan.



Gambar 8. Simulasi Radius Proteksi Lightning Strike R1-R3 [Sumber: Sparkta]

Setelah hasil dari simulasi pertama diketahui bahwa terminal udara dibutuhkan 4 terminal udara untuk menutupi radius proteksi pada sisi kanan dan kiri atap bangunan serta gambar dibawah ini menunjukkan bahwa semuanya telah terproteksi.



Gambar 9. Simulasi Radius Proteksi Lightning Strike R1-R7 [Sumber: Sparkta]

6. Menganalisa hasilnya

Kemudian setelah semua parameter terminal udara ditambahkan, pilih menu *result* untuk menampilkan hasil analisa simulasi yang telah dilakukan.

Current (kA)	Probability	strikes/year
1.00	0.01	0.000000000
181.52 > I > 79.31	0.07	0.000000000
79.31 > I > 60.41	0.07	0.000000000
60.41 > I > 50.44	0.07	0.000000000
50.44 > I > 43.74	0.07	0.000000000
43.74 > I > 38.68	0.07	0.000000000
38.68 > I > 34.55	0.07	0.000000000
34.55 > I > 31	0.07	0.000000000
31 > I > 27.82	0.07	0.000000000
27.82 > I > 24.85	0.07	0.000000000
24.85 > I > 21.97	0.07	0.000000000
21.97 > I > 19.05	0.07	0.000000000
19.05 > I > 15.91	0.07	0.000000000
15.91 > I > 12.12	0.07	0.000000000
12.12 > I > 5.29	0.07	0.000000000
5.29 > I	0.01	0.000000000
Total strikes/year		0.000000000

Gambar 10. Kemungkinan Hasil Sambaran Petir Per Tahun AR1 [Sumber: Sparkta]

Dengan desain sistem menggunakan program *Sparkta Lightning Protection* telah didapatkan hasil yang perlu dilakukannya penambahan 4 terminal udara kepada setiap sisi kanan dan kiri atap bangunan sehingga metode tersebut dapat memenuhi standar perhitungan NFPA 780 dan BS 7430 sebagai desain *engineering* Sistem Proteksi Penyalur Petir Eksternal.

## V. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil dari penelitian dan analisis pada perencanaan penangkal petir dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Dari analisa diatas cara kerja proteksi penyalur petir adalah disaat muatan listrik negatif di bagian bawah awan sudah tercukupi maka muatan listrik positif di tanah akan segera tertarik, Muatan listrik kemudian merambat naik melalui konduktor menuju ke ujung batang penangkal petir (*air terminal*).
2. Pada perancangan sistem penyalur petir di PT. Bukaka Teknik Utama menggunakan tiga metode yang mendekati dengan desain bangunan tersebut adalah metode bola bergulir, metode jala/sangkar faraday dan metode sudut proteksi yang mengacu pada standar NFPA 780 (*National Fire Protection Assosiation*) dan BS 7430 (*British Standard*) untuk sistem pentanahan.
3. Berdasarkan metode dan hasil perencanaan diperoleh RAB (Rencana Anggaran Biaya) bangunan dengan metode bola bergulir sebesar Rp 28.060.00.
4. Dari penelitian ini secara keseluruhan metode telah diterapkan dengan estimasi biaya yang telah ditentukan dapat digambarkan menjadi sebuah desain perencanaan untuk pembangunan sistem proteksi penyalur petir pada *Workshop*/bangunan di PT. Bukaka Teknik Utama yang mengacu pada standar perhitungan desain bangunan tipe pelana kuda dengan standar NFPA 780 (*National Fire Protection Assosiation*) adalah metode bola bergulir dan pada sistem pentanahan menggunakan standar BS 7430 (*British Standard*) adalah metode *hollow square* dengan mengoptimasikan nilai tahanan paling rendah 1,3 $\Omega$ .

## REFERENSI

- [1] A. S. Sampeallo, E. R. Mauboy, and Y. M. Moron, "Perencanaan Sistem Penyalur Petir Elektrostatis Dengan Metode Sangkar Faraday Pada Gedung Keuangan Negara Kupang," *Perenc. Sist. Penyalur Petir Elektrostatis Dengan Metod. Sangkar Faraday Pada Gedung Keuang. Negara Kupang*, vol. IX, no. 2, 2020.
- [2] Syafriyuddin, M. Suyanto, Subandi, and M. E. Efendi, "Analisa Perencanaan Penangkal Petir Pada Gedung Kampus Bima Sakti IST Akprind Yogyakarta," *Pros. Semin. Nas. Teknoka*, vol. 4, no. 2502, pp. E1–E8, 2019, doi: 10.22236/teknoka.v4i0.3978.
- [3] H. Henderawan, "Evaluasi Sistem Proteksi Petir Eksternal 'Studi Kasus Office PT Adaro Indonesia Site Dahai,'" *J. EEICT (Electric, Electron. Instrumentation, Control. Telecommun.)*, vol. 4, no. 1, pp. 28–38, 2021, doi: 10.31602/eeict.v4i1.4546.
- [4] M. Septian, "Desain Sistem Proteksi Petir Internal Pada Pembangkit Listrik Tenaga Surya Kuala Behe Kabupaten Landak," 2014.
- [5] Jamaaluddin and Sumarno, "Perencanaan Sistem Pentanahan Tenaga Listrik Terintegrasi Pada Bangunan," *JEEE-U (Journal Electr. Electron. Eng.)*, vol. 1, no. 1, pp. 29–33, 2017, doi: 10.21070/jee-u.v1i1.375.
- [6] Anonim, "Standard For The Installation Of Lighting Protection System, National Fire Protection Association (NFPA 780)," United States, 2004.
- [7] E. Krisna, "Pengertian Petir," *academia.edu*, 2013. [https://www.academia.edu/12975637/BAB\\_II\\_PEMBAHASAN\\_2.1.\\_PENGERTIAN\\_PETIR](https://www.academia.edu/12975637/BAB_II_PEMBAHASAN_2.1._PENGERTIAN_PETIR)
- [8] A. Zubair, "Bagaimana Proses Terjadinya Petir?," <https://www.studiobelajar.com/proses-terjadinya-petir/>, 2018. <https://www.studiobelajar.com/proses-terjadinya-petir/>
- [9] Anonim, "Flammable And Combustible Liquids Code, National Fire Protection Association (NFPA 30)." United States, 2003.
- [10] Rohani and N. Yuniarti, "Evaluasi Sistem Penangkal Petir Eksternal Di Gedung Rektorat Universitas Negeri Yogyakarta," *J. Edukasi Elektro*, vol. 1, no. 2, pp. 187–195, 2017, doi: 10.21831/jee.v1i2.17423.
- [11] P. P. T. Indonesia, "Sistem Proteksi Petir," 2015. <http://jasapasangpenangkalpetir.com/pages.php?pageid=12> (accessed Mar. 04, 2022).
- [12] Z. Hakim, I. Danial, and M. Rajagukguk, "Perencanaan Sistem Proteksi Petir Masjid Raya Mujahidin Menggunakan Metode Bola Bergulir (Rolling Sphere Method)," *J. Tek. Elektro Univ. Tanjungpura*, pp. 1–7, 2015.
- [13] R. Yulian, "Prinsip Proteksi Petir," 2012. <https://id.scribd.com/doc/85606474/prinsip-proteksi-petir> (accessed Mar. 04, 2022).
- [14] E. Sopyandi, "Jenis - jenis Elektroda Pentanahan," 2012. <http://electricdot.wordpress.com/2012/12/23/jenis-jenis-elektroda-pentanahan/amp/> (accessed Mar. 06, 2022).
- [15] F. E. Taryana, "Jenis Elektroda Dan Pemasangannya," 2017. <https://id.scribd.com/document/360995610/jenes-elektroda-dan-pemasangannya> (accessed Mar. 06, 2022).
- [16] Sparkta Lightning Protection. <http://www.spartalighting.com/>
- [17] SNI-7015-2004, Sistem Proteksi Petir pada Bangunan Gedung, [http://www.google.co.id/SNI\\_03-7015-2004.pdf](http://www.google.co.id/SNI_03-7015-2004.pdf). Agustus, 2006.