

Evaluasi Penangkal Petir Eksternal Dengan Membandingkan Metode Sudut Proteksi, Metode Jala-Jala Dan Bola Bergulir (Studi Kasus Gedung Biro Rektor USU)

Raja Harahap, Ifan Elekta Sinambela

Konsentrasi Teknik Energi Listrik, Departemen Teknik Elektro
Fakultas Teknik Universitas Sumatera Utara
Jl. Almamater, Kampus USU Medan 20155 INDONESIA
raja@usu.ac.id; ifansinambela99@gmail.com

Abstrak

Pada penelitian ini melakukan analisa terkait dan membandingkan metode sudut proteksi dan metode bola bergulir pada gedung Biro Rektor Universitas Sumatera Utara dengan melakukan evaluasi system penangkal petir eksternal dengan membandingkan metode sudut proteksi, metode jala-jala dan bola bergulir dan juga penulis akan melakukan perancangan suatu system pengamanan terhadap bahaya sambaran petir pada Gedung Biro Rektor Universitas Sumatera Utara. Hasil analisa pada penelitian ini menunjukkan bahwa Gedung biro rektor Universitas Sumatera Utara memiliki daerah sambaran petir sekitar 33.493,23 m² dengan rata rata sambaran petir ke tanah sekitar 38,63 Sambaran perkilo meter persegi pertahun, efisiensi system proteksi pada gedung sekitar 0,92 dan masuk kedalam tingkat proteksi level 2. Penggunaan metode sudut proteksi pada Gedung Biro Rektor Universitas Sumatera Utara masih terdapat beberapa ruangan pada sisi kanan dan kiri di lantai 3 dan lantai 4 yang masih berpotensi terkena sambaran petir dengan pemasangan batang penangkap petir ke-1 dengan tinggi 9 meter dan batang penangkap petir ke-2 dengan tinggi 22 meter. Pemasangan dengan metode bola bergulir tidak lagi berpotensi terkena sambaran petir dengan pemasangan 47 Splitzen pada atap gedung. Metode Bola bergulir dapat mengidentifikasi daerah-daerah yang perlu dilindungi, metode bola bergulir dapat diterapkan untuk semua jenis desain bangunan. Hal ini berbeda dari metode sudut proteksi yang terbatas penggunaannya pada evaluasi tingkat efektivitas system perlindungan petir yang telah didesain. Metode jala jala merupakan metode yang paling mudah dalam penerapan akan tetapi biaya investasinya cukup mahal.

Kata Kunci : *Penangkal Petir, Evaluasi, Sambaran dan Proteksi*

I. PENDAHULUAN

Indonesia adalah salah satu negara yang memiliki frekuensi sambaran yang tertinggi di dunia, hal ini disebabkan karena Indonesia terletak di wilayah ekuatorial yang menerima insolasi yang cukup besar dan 70% wilayah Indonesia adalah perairan yang menjadi syarat terbentuknya awan petir[3]. Kota Medan merupakan salah satu kota terbesar di Indonesia yang memiliki jumlah penduduk berkisar 2.229.408 jiwa dengan luas wilayah 265 KM² (BPS, 2019). Wilayah Kota Medan dan sekitarnya berpotensi rawan petir akibat tumbuhnya awan-awan konvektif di sekitar lereng pegunungan[4].

Dampak dari sambaran petir secara langsung maupun tidak langsung pada suatu bangunan dapat menyebabkan kerusakan yang fatal[5]. Kerusakan yang ditimbulkan oleh sambaran petir dapat membahayakan peralatan serta manusia yang berada di dalam gedung tersebut[1][5].

Dalam penentuan pemasangan terminasi udara pada sebuah gedung ada beberapa metode yang digunakan. Dalam penelitian ini penulis membandingkan metode sudut proteksi dan metode bola bergulir pada gedung Biro Rektor Universitas Sumatera Utara. Metode Sudut Proteksi merupakan metode pertama kali yang diperkenalkan. Setelah Benjamin Franklin

menemukan Franklin rod, yaitu alat proteksi petir berupa kerucut tembaga dengan daerah perlindungan berupa kerucut imajiner. Pada umumnya Franklin rod dipasang pada pipa besi (dengan tinggi 1-3 meter) agar memperbesar area perlindungannya. Semakin jauh suatu bangunan atau struktur dari Franklin rod maka semakin lemah perlindungan di dalam daerah perlindungan tersebut[6]. Metode bola bergulir baik digunakan pada bangunan yang bentuknya rumit[7].

Dengan metode ini seolah-olah ada suatu bola dengan radius R yang bergulir di atas tanah, sekeliling struktur dan di atas struktur ke segala arah hingga bertemu dengan tanah atau struktur yang berhubungan dengan permukaan bumi yang mampu bekerja sebagai penghantar. Titik sentuh bola bergulir pada struktur adalah titik yang dapat disambar petir dan pada titik tersebut harus diproteksi oleh konduktor terminasi udara. Semua petir yang berjarak R dari ujung penangkap petir akan mempunyai kesempatan yang sama untuk menyambar bangunan[8].

Pada penelitian ini penulis akan melakukan evaluasi sistem penangkal petir eksternal dengan membandingkan metode sudut proteksi, metode jala-jala dan bola bergulir dan juga penulis akan melakukan perancangan suatu sistem pengamanan terhadap bahaya sambaran petir pada Gedung Biro Rektor Universitas Sumatera Utara.

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Sambaran Petir

Jumlah rata – rata frekuensi sambaran petir langsung pertahun (N_d) dapat dihitung dengan perkalian kepadatan kilat ke bumi pertahun (N_g) dan luas daerah perlindungan efektif pada bangunan (A_e)[14].

$$N_d = N_g \cdot A_e$$

Kerapatan sambaran petir ketanah dipengaruhi oleh hari guruh rata- rata pertahun di daerah tersebut[14].

$$N_g = 4 \cdot 10^{-2} \cdot T^{1.26}$$

Sedangkan luas daerah perlindungan pada bangunan dapat dihitung dengan persamaan berikut[14]:

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

Rata– rata frekuensi tahunan N_n dari kilat yang mengenai tanah dekat bangunan dapat dihitung dengan perkalian kerapatan kilat ke tanah pertahun N_g dengan cakupan daerah di sekitar bangunan yang disambar A_g [15].

$$N_n = N_g \times A_g$$

Luas daerah cakupan disekitar bangunan yang menyebabkan suatu tambahan potensial akibat sambaran ketanah dapat dihitung[15]:

$$A_g = ab + 2ap + 2bp + \pi p^2 - A_e$$

Keterangan:

- a = Panjang atap gedung (m)
- b = Lebar atap gedung (m)
- h = Tinggi atap gedung (m)
- A_e = Luas daerah yang masih memiliki angka sambaran petir sebesar N_d (Km^2)

2.2 Metode Penentuan Penangkal Petir

Relay Konduktor penyalur adalah bagian dari sistem proteksi eksternal yang dimaksudkan untuk melewatkan arus petir dari sistem terminasi udara ke sistem pembumian[18].

Konduktor penyalur perlu merancang agar tidak menimbulkan induksi terhadap peralatan-peralatan listrik yang terdapat didalam ataupun di sekitar bangunan atau gedung yang diproteksi. Pemilihan jumlah dan posisi konduktor penyalur sebaiknya memperhitungkan kenyataan bahwa, jika arus petir dibagi dalam beberapa konduktor penyalur, resiko dan loncatan kesamping dan gangguan elektromagnetik didalam bangunan gedung berkurang[18]. Berikut ukuran minimum bahan SPP dipakai dalam standar ini

untuk penggunaan konduktor penyalur (down conductor) terdapat pada Tabel 1.

Tabel 1. Dimensi Minimum Bahan SPP Untuk Penggunaan Konduktor Penyalur

Tingkat Proteksi	Bahan	Konduktor Penyalur (mm ²)
I sampai IV	Cu	35
	Al	70
	Fe	50

2.3 Besarnya Kebutuhan Bangunan Akan Sistem Proteksi Petir

Suatu instalasi proteksi petir harus dapat melindungi semua bagian dari bangunan, termasuk juga manusia dan peralatan yang berada didalamnya terhadap bahaya dan kerusakan akibat sambaran petir. Bahaya dan kerusakan tersebut dapat dihindarkan bila instalasi penangkal petir memenuhi persyaratan-persyaratan teknis yang sesuai dengan kebutuhan perlindungan. Instalasi- instalasi bangunan yang berdasarkan letak, bentuk penggunaannya dianggap mudah terlena sambaran petir dan perlu diberi proteksi petir adalah[20]:

1. Bangunan-bangunan tinggi, seperti gedung-gedung bertingkat, menaramenara, cerobong-cerobong pabrik.
2. Bangunan-bangunan penyimpan bahan mudah terbakar atau mudah meledak, misalnya seperti pabrik-pabrik amunisi, gudang-gudang penyimpanan bahan peledak, gudang-gudang penyimpanan cairan atau gas yang mudah meledak, dan lain-lain.
3. Bangunan-bangunan untuk umum, misalnya gedung-gedung pertunjukan, gedung-gedung sekolah, stasiun dan lain-lain.
4. Bangunan-bangunan yang berdasarkan fungsi khusus perlu dilindungi secara baik misalnya museum, gedung arsip negara. Dalam tulisan ini akan dibahas penentuan besarnya kebutuhan bangunan akan proteksi petir menggunakan Standar Umum Instalasi Penangkal Petir dan Standar Nasional Indonesia (SNI 03-7015-2004).

Tabel 2. Perkiraan Bahaya Sambaran Petir Berdasarkan PUIPP

R	Perkiraan Bahaya	Pengamanan
Dibawah 11	Diabaikan	Tidak perlu
Sama dengan 11	Kecil	Tidak perlu
	Sedang	Dianjurkan
	Agak Besar	Dianjurkan
	Besar	Sangat dianjurkan
Lebih dari 14	Sangat Besar	Sangat perlu

Jelas bahwa semakin besar nilai R, semakin besar pula bahaya serta kerusakan yang ditimbulkan oleh sambaran petir, berarti semakin besar pula kebutuhan bangunan tersebut akan adanya suatu sistem proteksi petir[20].

Setelah diketahui tingkat proteksi berdasarkan Tabel 6, maka dapat ditentukan sudut proteksi (α) dari penempatan suatu terminasi udara, radius bola yang dipakai maupun ukuran jala (konduktor horizontal) sesuai dengan Tabel 3.

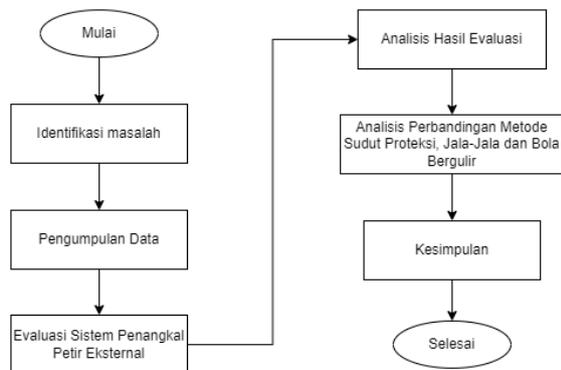
Tabel 3. Daerah Proteksi Dari Terminasi Udara Sesuai Dengan Tingkat Proteksi

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

Apabila menurut data-data yang ada dimasukkan kedalam persamaan (6) diatas, maka selanjutnya dapat diambil kesimpulan mengenai perlu atau tidak sistem proteksi petir eksternal digunakan. Jika nilai $R \geq 12$, maka bangunan tersebut dianjurkan menggunakan sistem proteksi petir[20]. Kerapatan kilat petir ke tanah atau kerapatan sambaran petir ke tanah rata-rata tahunan didaerah tempat suatu struktur berada, dinyatakan sebagai[20].

III. METODOLOGI PENELITIAN

Adapun metode penelitian yang akan dilakukan pada penelitian yang dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Metode Penelitian

3.1 Istrument Pengambilan Data

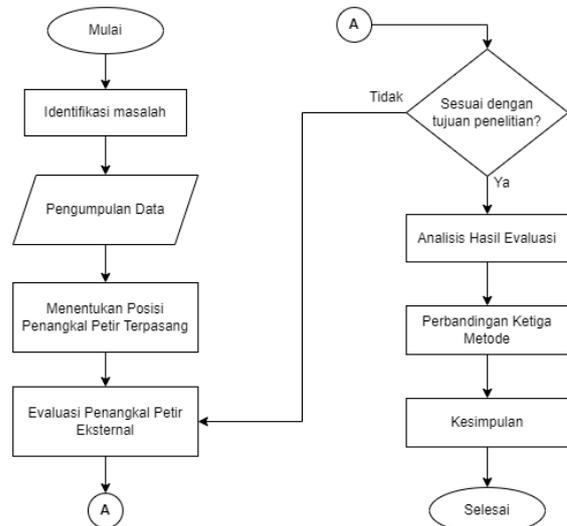
Pengumpulan data dalam penelitian ini dilakukan setelah mengidentifikasi masalah sebagai kebutuhan hipotesis. Metode pengumpulan data dapat dilihat pada Tabel 4.

Tabel 4. Data Yang Dibutuhkan

Data Yang Dibutuhkan	Sumber Data
Data Petir	Badan Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika (BMKG)
Jenis Penangkal Petir Yang Digunakan	Biro Pengelolaan Aset dan Usaha Universitas Sumatera Utara
Data Bangunan Gedung	Biro Pengelolaan Aset dan Usaha Universitas Sumatera Utara

3.2 Skema Prosedur Penelitian

Adapun tahapan-tahapan yang akan dilakukan pada penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Diagram Alir Penelitian

3.3 Metode Pengolahan Data

Pada penelitian ini penulis akan melakukan pengolahan data dengan menentukan beberapa parameter penelitian..

1. Penentuan hari Guruh
2. Penentuan densitas sambaran petir ke tanah Ng.
3. Penentuan Frekuensi Sambara Petir Langsung (Nd)
4. Penentuan Nilai Efisiensi

IV. ANALISA HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Identifikasi Gedung

Pada penelitian ini penulisan mengidentifikasi gedung biro rektor Universitas Sumatera Utara, adapun data data terkait mengenai gedung dapat dilihat pada Tabel 5.

Tabel 5. Data Fisik Dan Non Fisik Gedung Biro Rektor USU

Karakteristik	Keterangan
Panjang Gedung	70,3 Meter
Lebar Gedung	43,4 Meter
Tinggi Gedung	22,9 Meter
Resistansi Tanah	3,90 Ω
Kapasitas Jiwa	± 200 s/d ± 300 Orang
Waktu Operasi	± 50 Jam Perminggu
Karakteristik Material	Beton

1. Bagian tepi panjang atap sisi atas dan bawah

$$N1 = (1+(P / 6)) \times 2$$

$$N1 = (1+(70,3 / 6)) \times 2$$

$$N1 = 25,43 \text{ (dipakai 25 splitzen)}$$

2. Bagian tepi lebar atap kanan dan kiri
 $N_2 = ((L / 6) \times 2) - 4$
 $N_2 = ((43,4 / 6) \times 2) - 4$
 $N_2 = 10,47$ (dipakai 10 splitzen)
3. Bagian tengah antar splitzen
 $N_3 = (L / 15)$
 $N_3 = (43,4 / 15)$
 $N_3 = 2,89$
4. Jumlah splitzen bagian tengah
 $N_4 = (P \times N_3 / 15) - 1$
 $N_4 = (70,3 \times 2,89 / 15) - 1$
 $N_4 = 12,56$ (dipakai 12 splitzen)
5. Jumlah splitzen keseluruhan
 $N_T = N_1 + N_2 + N_4$
 $N_T = 25 + 10 + 12$
 $N_T = 47$ Splitzen

Berdasarkan hasil perhitungan, untuk gedung biro rektor Universitas Sumatera Utara dengan panjang 70,3 meter dan lebar 43,4 meter, maka diperlukan sekitar 47 splitzen untuk dapat menghasilkan sistem proteksi petir yang optimal pada gedung biro rektor Universitas Sumatera Utara.

4.2 Analisis Tingkat Proteksi Gedung Biro Rektor USU

Pada penelitian ini penulis akan menganalisis tingkat proteksi pada gedung biro rektor Universitas Sumatera Utara dengan beberapa persamaan pada penjabaran dibawah. Adapun analisis tingkat proteksi pada gedung biro rektor Universitas Sumatera Utara dapat dilihat pada penjabaran berikut.

1. Penentuan Luas Daerah Potensi Sambaran Petir
 Pada penelitian ini penulis akan menentukan terlebih dahulu luas daerah sambaran petir berdasarkan ukuran bangunan gedung biro rektor Universitas Sumatera Utara dengan menggunakan persamaan berikut.
 $A_e = (a \times b) + (6 \times h(a+b)) + (9\pi \times h^2)$
 $A_e = (70,3 \times 43,4) + (6 \times 22,9(70,3+43,4)) + (9\pi \times 22,9^2)$
 $A_e = 33.493,23 \text{ m}^2$
2. Rata Rata Densitas Sambaran Petir Ke Tanah
 Setelah penulis mengidentifikasi penentuan luas daerah potensi sambaran petir, penulis akan menentukan rata rata densitas sambaran petir ke tanah dengan menggunakan persamaan berikut.
 Adapun densitas sambaran ke tanah rata-rata tahunan pada gedung biro rektor Universitas Sumatera Utara dapat dilihat pada penjabaran berikut.
 $N_g = 0,04 T_d^{1,27}$
 $N_g = 0,04 \times 224^{1,27}$
 $N_g = 38,63 \text{ Sambaran/km}^2/\text{Tahun}$

3. Penentuan Rata Rata Frekuensi Sambaran Petir Tahunan Pada Gedung

Setelah penulis mengidentifikasi densitas sambaran ke tanah rata-rata tahunan, penulis akan menentukan rata rata frekuensi sambaran petir tahunan pada gedung biro rektor Universitas Sumatera Utara dengan menggunakan persamaan berikut. Adapun rata rata frekuensi sambaran petir tahunan pada gedung biro rektor Universitas Sumatera Utara dapat dilihat pada penjabaran berikut.

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

$$N_d = 38,63 \times 33.493,23 \times 10^{-6}$$

$$N_d = 1,29$$

4. Penentuan Sistem Proteksi Petir

Dalam pengambilan keputusan sistem proteksi petir terdapat beberapa ketentuan yang dapat dilihat pada penjabaran berikut.

- a) Jika $N_d < N_c$ Tidak Perlu Sistem Proteksi Petir
- b) Jika $N_d > N_c$ Diperlukan Sistem Proteksi Petir

Penulis menentukan nilai efisiensi sistem proteksi petir yang dapat dilihat pada penjabaran berikut.

$$E_c = 1 - (N_c/N_d)$$

$$E_c = 1 - (0,1/1,29)$$

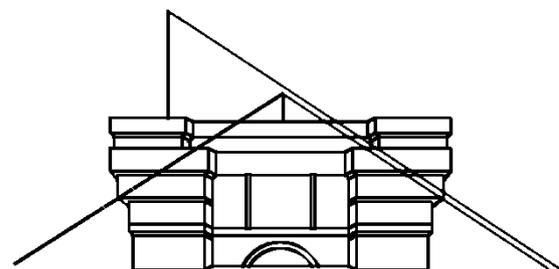
$$E_c = 0,92$$

Dalam kasus gedung biro rektor Universitas Sumatera Utara, didapatkan efisiensi sistem proteksi eksternal dengan kisaran nilai pada 0,92 dengan pertimbangan, memberikan perlindungan yang cukup tanpa biaya yang terlalu tinggi.

Dengan nilai efisiensi pada kisaran 0,92 tersebut, berdasarkan tabel maka tingkat proteksi yang akan diberikan kepada Gedung biro rektor Universitas Sumatera Utara adalah tingkat II.

4.3. Analisis Penangkal Petir Dengan Metode Sudut Proteksi

Gedung Biro Rektor Universitas Sumatera Utara memiliki sistem proteksi petir yang terdiri dari 2 batang penangkap petir terpisah, seperti terlihat pada gambar berikut.



Gambar 3. Metode Sudut Perlindungan Pada Gedung Biro Rektor USU (Tampak Depan)

Dalam penggunaan penangkal petir dengan metode sudut proteksi dapat dilihat pada Gambar 4.7 tidak keseluruhan bagian gedung masuk kedalam sudut proteksi, terdapat beberapa ruangan pada sisi kanan dan kiri di lantai 3 dan lantai 4 yang masih berpotensi terkena sambaran petir dan masih membutuhkan perlindungan dari petir.

4.4. Analisis Penangkal Petir Dengan Metode Bola Bergulir

Dengan menggunakan level proteksi II, tinggi gedung 22,9 meter, dan tinggi *finial* 1 meter maka untuk metode bola bergulir gedung biro rektor. Metode bola bergulir terhadap atap gedung adalah dan jari-jari proteksi dapat dilihat pada penjabaran berikut.

1. Hubungan Besar Arus Dan Jarak Sambaran Petir. Adapun hubungan besaran arus dan jarak sambaran petir dapat dilihat pada penjabaran berikut.

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

$$rs = 10 \times 150^{0,65}$$

$$rs = 259,69$$

2. Penentuan Sudut Perlindungan
 Pada penelitian ini penulis akan melakukan analisa terhadap penangkal petir dengan menggunakan metode bola bergulir dengan menentukan sudut perlindungan dengan menggunakan persamaan berikut.

$$\alpha^\circ = \text{Sin}^{-1} (1 - (h/rs))$$

$$\alpha^\circ = \text{Sin}^{-1} (1 - (22,9/259,69))$$

$$\alpha^\circ = \text{Sin}^{-1} (259,69)$$

$$= 65,79^\circ$$

3. Penentuan Radius Daerah Perlindungan
 Pada penelitian ini penulis akan melakukan analisa terhadap penangkal petir dengan menggunakan metode bola bergulir dengan menentukan radius daerah perlindungan dengan menggunakan persamaan berikut. Adapun penentuan jari jari perlindungan pada gedung biro rektor Universitas Sumatera Utara dapat dilihat pada penjabaran berikut.

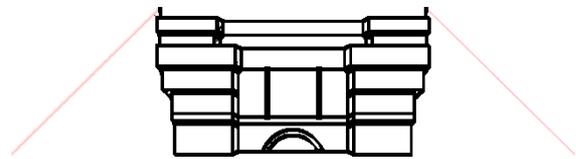
$$r = \sqrt{2 r_s h - h^2}$$

$$r = \sqrt{2 \times 259,69 \times 22,9 - 22,9^2}$$

$$r = \sqrt{11.369,50}$$

$$r = 106,63 \text{ meter}$$

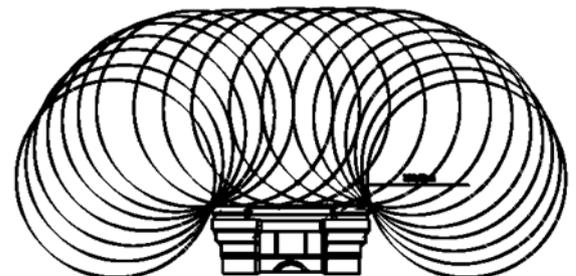
Dengan menggunakan tingkat proteksi II, tinggi gedung 22,9 meter, dan penuli akan menentukan tinggi *finial*, sudut perlindungan gedung biro rektor Universitas Sumatera Utara dengan sudut perlindungan *finial* terhadap atap gedung adalah 65,79° dan jari-jari perlindungan 106,63 meter. Adapun daerah sudut perlindungan pada gedung biro rektor Universitas Sumatera Utara dapat dilihat pada Gambar 4.



Gambar 4. Sudut Perlindungan Pada Gedung Biro Rektor USU (Tampak Depan)

Dari gambar dapat kita lihat bahwa hasil penerapan metode sudut perlindungan ini menunjukkan bahwa finial dapat memberikan perlindungan yang cukup terhadap keseluruhan bagian gedung dengan sudut perlindungan penangkal petir sekitar 65,79°.

Gedung biro rektor Universitas Sumatera Utara ini akan diperlihatkan penerapan metode bola bergulir terhadap penampang dari gedung tampak depan. Pada penelitian ini penulis akan menunjukkan zona perlindungan terhadap sambaran petir. Adapun metode bola bergulir pada gedung biro rektor Universitas Sumatera Utara tampak depan dapat dilihat pada Gambar 5.



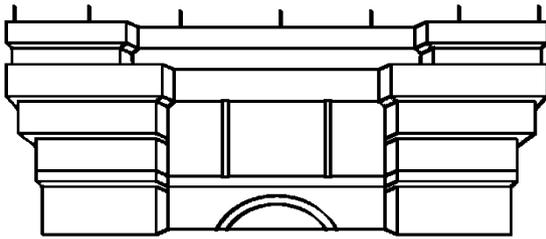
Gambar 5. Metode Bola Bergulir Pada Gedung Biro Rektor USU(Tampak Depan)

Pada penerapan metode bola bergulir di gedung biro rektor Universitas Sumatera Utara dari tampak depan tersebut terlihat bahwa dengan pemasangan 25 buah splitzen di atap gedung bagian panjang dengan pemasangan bagian depan 13 splitzen dan bagian belakang 12 splitzen, bola tidak lagi menyentuh bagian gedung biro rektor Universitas Sumatera Utara. Hal ini menunjukkan bahwa pemasangan penangkal petir dengan metode bola bergulir pada gedung sudah terproteksi dengan baik. Pemasangan splitzen masing-masing finial berjarak 6 m satu sama lain, dimana tinggi splitzen yang dipasang adalah 1 meter yang berarti ketinggian finial tersebut telah cukup melindungi atap gedung biro rektor Universitas Sumatera Utara.

Bila dilihat dari arah samping, penerapan metode bola bergulir pada gedung biro rektor Universitas Sumatera Utara memperlihatkan bahwa bola tidak lagi menyentuh bagian gedung tidak lagi. Tampak samping tersebut terlihat bahwa dengan pemasangan 10 buah splitzen di atap gedung bagian lebar dengan pemasangan bagian kanan 5 splitzen dan bagian kiri 5 splitzen dengan pemasangan splitzen masing-masing finial berjarak 6 m satu sama lain.

4.5. Analisis Penangkal Petir Dengan Metode Jala Jala

Metode Jala ini hanya membutuhkan satu parameter untuk menentukan batasan-batasan metode, yaitu tingkat proteksi gedung tersebut. Tingkat proteksi gedung biro rektor Universitas Sumatera Utara adalah tingkat II. Penerapan metode jala jala ini adalah 10 meter × 10 meter. Dari dimensi gedung dapat kita lihat bahwa panjang atap adalah 70,3 m, sehingga jala jala konduktor yang dipasang memiliki luas 10 meter x 10 meter, penerapan metode Jala ini dapat kita lihat pada Gambar 6.



Gambar 6. Metode Jala Pada Gedung Biro Rektor USU (Tampak Depan)

Berdasarkan gambar di atas bahwa sebenarnya *finial* yang telah ada tidak lagi diperlukan apabila metode jala jala ini diterapkan pada gedung. Karena pada metode jala telah menempatkan konduktor disetiap titik yang mungkin disentuh oleh bola dari metode bola bergulir yang berarti gedung telah sepenuhnya terlindung dari sambaran petir.

V. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Adapun kesimpulan yang diberikan oleh penulis pada penelitian yang dilakukan adalah sebagai berikut :

1. Gedung biro rektor Universitas Sumatera Utara memiliki daerah sambaran petir sekitar 33.493,23 m² dengan rata rata sambaran petir ke tanah sekitar 38,63 Sambaran perkilometer persegi pertahun, efisiensi sistem proteksi pada gedung sekitar 0,92 dan masuk kedalam tingkat proteksi level 2.
2. Penggunaan metode sudut proteksi pada Gedung Biro Rektor Universitas Sumatera Utara masih terdapat beberapa ruangan pada sisi kanan dan kiri di lantai 3 dan lantai 4 yang masih berpotensi terkena sambaran petir dengan pemasangan batang penangkap petir ke-1 dengan tinggi 9 meter dan batang penangkap petir ke-2 dengan tinggi 22 meter. pemasangan dengan metode bola bergulir tidak lagi berpotensi terkena sambaran petir dengan pemasangan 47 Splitzen pada atap gedung. Pemasangan dengan metode jala jala yaitu konduktor yang dipasang dengan jarak 10 meter, akan tetapi metode ini tidak lagi

diperlukan jika sudah menggunakan metode bola bergulir yang berarti gedung telah sepenuhnya.

3. Metode Bola bergulir dapat mengidentifikasi daerah-daerah yang perlu dilindungi, metode bola bergulir dapat diterapkan untuk semua jenis desain bangunan. Hal ini berbeda dari metode sudut proteksi yang terbatas penggunaannya pada evaluasi tingkat efektivitas sistem perlindungan petir yang telah didesain. Metode jala jala merupakan metode yang paling mudah dalam penerapan akan tetapi biaya investasinya cukup mahal.

5.2 Saran

Penelitian selanjutnya dapat melakukan pengembangan dengan merancang sistem proteksi petir yang paling sesuai dengan kebutuhan gedung biro rektor Universitas Sumatera Utara. Penelitian selanjutnya diharapkan dapat melakukan pengembangan dengan menerapkan desain 3D terkait sistem proteksi petir yang paling sesuai dengan kebutuhan gedung biro rektor Universitas Sumatera Utara.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Z. Hakim, 2017, *Masjid Raya Mujahidin Menggunakan Metode Bola Bergulir (Rolling Sphere Method)*, Univ. Tanjungpura, pp. 1–7.
- [2] B. Prasetyo, Y. Setiawan, and I. Irwandi, 2019, *Analisis Karakteristik Diurnal Petir Dan Curah Hujan Berdasarkan Data Lightning Detector Dan Helmann Di Medan*, Instrumentasi, vol. 43, no. 2, p. 125, doi: 10.31153/instrumentasi.v43i2.175.
- [3] F. Murdiya, 2017, *Desain Dan Analisa Sistem Proteksi Petir Pada Rumah Sakit*, Fteknik, vol. 4, no. 1, pp. 1–7.
- [4] Y. Ugahari and I. Garniwa, *Metode Collection Volume Studi Kasus Gedung Fakultas Teknik*, pp. 1–7.
- [5] Dennis Christian, 2013, *Evaluasi Sistem Proteksi Petir Eksternal Pada Pabrik Pupuk Pt Pupuk Sriwijaya*, ITS.
- [6] N.I. Ahmad, et al., 2018, *Lightning Protection On Photovoltaic Systems: a review on current and recommended practices*, Renew. Sustain. Energy Rev. 82 1611–1619.
- [7] H. Chen, Y. Du, M. Yuan, Q.H. Liu, 2018, *Analysis Of The Grounding For The Substation Under Very Fast Transient Using Improved Lossy Thin-Wire Model For FDTD*, IEEE T Electromagn. C 60 (6) 1833–1841.
- [8] H. Chen, Y. Du, M. Yuan, Q.H. Liu, *Lightning-induced voltages on a distribution line with surge arresters using a hybrid FDTD–SPICE method*, IEEE Trans. Power Deliv. 33 (5) (2017) 2354–2363 2018.

- [9] R. Tsuge, Y. Baba, and T. Kudo, 2020, *Development of Enhanced Lightning Protection System for a Wireless Base Station and its Performance Evaluation Using the FDTD Method*, Ieej Transactions on Electrical and Electronic Engineering, vol. 15, no. 11, pp. 1622–1629, Oct. doi: <https://doi.org/10.1002/tee.23263>.
- [10] Cihat Cagdas Uydur, 2020, *Evaluation Of Lighting Systems: Textile Factory Case Study*, "2nd International Conference On Engineering And Applied Natural Sciences. Vol. 33, No 5.
- [11] H. Chen, Y. Du, M. Chen, 2018, *Lightning Transient Analysis Of Radio Base Stations*, IEEE Trans. Power Deliv. 33 (5) 2187–2197.
- [12] H. Chen, Y. Du, 2018, *Model Of Ferromagnetic Steels For Lightning Transient Analysis*, IET Sci. Meas. Technol. 12 (3) 301–307.
- [13] Directive 2018/844/EU of the European Parliament and of the Council of 30 May 2018 Amending Directive 2010/31/EU on the Energy Performance of Buildings and Directive 2012/27/EU on Energy Efficiency, Official Journal of the European Union, 2018, pp. 43–74.
- [14] G. Chiesa, 2020, *Technological Paradigms and Digital Eras: Data-driven Visions for Building Design*, Springer, Cham.
- [15] S. Noye, R. North, D. Fisk, 2018, *A Wireless Sensor Network Prototype For Post-Occupancy Troubleshooting Of Building Systems*, Automation in Construction 89 (2018) 225–234.
- [16] G. Chiesa, S. Cesari, M. Garcia, M. Issa, S. Li, 2019, *Multisensor IoT platform for optimising IAQ levels in buildings through a smart ventilation system*, Sustainability 11 5777.
- [17] M. Vega-Heredia, R.E. Mohan, T.Y. Wen, J.S. Aisyah, A. Vengadesh, S. Ghanta, S. Vinu, 2019, *Design And Modelling Of A Modular Window Cleaning Robot*, Automat. Construct. 103. 268–278.
- [18] G. Chiesa, A. Acquaviva, M. Grosso, L. Bottaccioli, M. Florida, E. Pristeri, E.M. Sanna, 2019, *Parametric Optimisation Of Window-To-Wall Ratio For Passive Buildings Adopting A Scripting Methodology To Dynamic-Energy Simulation*, Sustainability 11, 3078.
- [19] S. Al-Masrani, K.M. Al-Obaidi, 2019, *Dynamic Shading Systems: A Review Of Design Parameters, Platforms And Evaluation Strategies*, Automat. Construct. 102, 195–216.
- [20] Djoko Laras Budiyo Taruno, dkk, *Instalasi Listrik Industri*. UNY Press