

KAJIAN AWAL PENANGKAL PETIR PADA GEDUNG BERTINGKAT DI
WILAYAH BUKIT INDAH LHOKSEUMAWEFakhruddin Ahmad Nasution^{1*}, Raihan Putri², Khairul Ikhsan³^{1,2,3}Departement of Electrical Universitas Malikussaleh, Aceh, Indonesiae-mail i: fakhruddinahmadnst@unimal.ac.id

Abstrak- Petir merupakan fenomena alam dengan arus dan tegangan yang sangat tinggi. Pada tahun 2023, daerah di Indonesia rata – rata tersambar berkisar lebih 15.000 sampai 60.000 kali sambaran. Efek sambaran petir dapat merusak jaringan listrik, dan kebakaran, untuk mencegah petir mengenai jaringan listrik diperlukan penangkal petir. Efek sambaran petir akan dihitung kebutuhan proteksi penangkal petir dengan indeks–indeks PUIPP. Penentuan tingkat proteksi bangunan berdasarkan SNI 03-7015-2004, jarak proteksi zonasi jarak proteksi penangkal petir menggunakan Metode Zona Proteksi Razevig dengan beberapa ketinggian bangunan bertingkat. Hasil penelitian diperoleh menurut indeks – indeks penentu PUIPP Gedung bertingkat yang dibangun pada titik koordinat Bukit Indah dengan radius 10 km sangat dianjurkan untuk terpasang sistem proteksi penangkal petir karena intensitas sambaran petir di daerah tersebut terbilang tinggi, gedung bertingkat yang dibangun di daerah Bukit Indah masuk kedalam Tingkat Proteksi II dan IV, Pada metode Zona Proteksi Razevig didapatkan semakin rendah suatu bangunan akan semakin tinggi radius proteksi dari penangkal petir yang akan dipasang.

Kata Kunci - Surja Petir, PUIPP, SNI 03-7015-2004, Metode Zona Proteksi Razevig.

Abstract-Lightning is a natural phenomenon with very high currents and voltages. In 2023, the average area in Indonesia was struck by more than 15,000 to 60,000 strikes. The effect of lightning strikes can damage the electrical network, and fire, to prevent lightning from hitting the electrical network, a lightning rod is needed. The effect of lightning strikes will be calculated lightning protection needs with PUIPP indices, determination of the level of building protection based on SNI 03-7015-2004, zoning protection distance lightning protection distance using the Razevig Protection Zone Method with several heights of multi-storey buildings. The results were obtained according to the determinant indices PUIPP high-rise building built on the coordinate point of Bukit Indah with a radius of 10 km is highly recommended for lightning protection system installed because the intensity of lightning strikes in the area is fairly high, high-rise buildings built in Bukit Indah entered into the level of protection II and IV, The Method.

Keywords - Lightning Surge, PUIPP, Razevig Protection Zone Method, SNI 03-7015-2004.

I. PENDAHULUAN

Petir adalah keajaiban alam yang bisa disamakan dengan kapasitor raksasa, petir juga dapat dianggap sebagai fenomena alam dengan arus dan tegangan yang sangat tinggi. Petir biasanya melepaskan muatannya dari awan ke objek terdekat, sehingga petir kemungkinan besar akan menyambar objek setinggi sekitar 15 meter[1]. Petir terbentuk akibat keadaan awan bermuatan atau awan cumulonimbus, awan ini terbentuk oleh tiga kondisi yaitu pergerakan udara, humiditas dan elektron lepas atau aerosol. Seluruh komponen inilah bakal menyebabkan timbulnya muatan di dalam awan cumulonimbus[2]. Petir dapat menyebabkan kerusakan yang membahayakan peralatan dan manusia di dalam gedung. Untuk meminimalisir resiko sambaran petir, Gedung bertingkat harus memiliki penangkal petir yang melindungi seluruh bagian gedung, termasuk orang dan peralatan yang ada di dalamnya.

Kilatan petir bisa mencapai jarak panjang 1-2 km dan arus rata-rata bisa mencapai 200.000 Ampere[3]. Efek akibat sambaran tergantung sesuai dengan tinggi bangunan, semakin tinggi bangunan akan semakin tinggi kerugian yang akan dialami jika terkena sambaran[4]. Penangkal petir pada dasarnya sangat diperlukan dalam sebuah bangunan akan terlindungi dan menekan kerugian oleh tersambar petir. Selain itu, Indonesia adalah negara dengan hari guntur dan kilat yang sangat banyak dalam setahun[5]. Pada tahun 2023, daerah di Indonesia rata – rata tersambar berkisar lebih 15.000 sampai 60.000 kali.

Sistem proteksi penangkal petir juga terbagi menjadi dua jenis proteksi, diantaranya proteksi penangkal petir internal dan eksternal[6]. Tujuan sistem proteksi eksternal adalah untuk melindungi bangunan dan manusia dari kerusakan akibat sambaran petir langsung, sedangkan tujuan proteksi internal adalah untuk mengurangi dampak gelombang elektromagnetik akibat arus petir yang masuk ke

peralatan yang dilindungi[7]. Kebutuhan akan proteksi pada bangunan dapat ditentukan berdasarkan perhitungan yang dihitung menggunakan beberapa subklasifikasi dari Peraturan Umum Instalasi Penyalur petir (PUIPP), hari guruh, Ng dan Nd.

II. TINJAUAN PUSTAKA

Standar menentukan tingkat proteksi petir yang dibutuhkan oleh bangunan untuk dapat menerapkan standar yang berlaku, diantaranya PUIPP, *National Fire Protection Association (NFPA) 780* dan *International Electrotechnical Commission (IEC) 1024-1-1*[8].

A. Berdasarkan Peraturan Umum Instalasi Penyalur Petir (PUIPP)

Besar kebutuhan didasarkan pada penjumlahan indikator-indikator tertentu yang menggambarkan keadaan gedung pada suatu tempat tertentu, dimasukkan dalam persamaan dibawah berikut:

$$R = A + B + C + D + E \quad (1)$$

B. Berdasarkan Standart IEC 1024-1-1

Standar IEC 1024-1-1 berdasarkan tingkat proteksi sistem proteksi petir berdasarkan jumlah frekuensi petir lokal langsung (Nd) dan jumlah frekuensi petir lokal tahunan (Nc) yang diizinkan [9]. Tingkat sambaran petir ke tanah rata-rata tahunan atau sambaran petir di area di mana struktur berada dinyatakan dalam persamaan sebagai berikut [5]:

$$Ng = \frac{0,04 Td^{1,26}}{\text{tahun}} \quad (2)$$

$$Nd = \frac{Ng.Ae.10^{-6}}{\text{tahun}} \quad (3)$$

$$Ae = ab + 6h(a + b) + 9\pi h^2 \quad (4)$$

Daerah cakupan merupakan permukaan bumi, yang dianggap sebagai struktur yang terkena petir langsung setiap tahun. Daerah lindung adalah daerah sekeliling bangunan sampai dengan 2h, dimana h adalah ketinggian bangunan. Pemasangan sistem proteksi petir pada bangunan memerlukan atau tidak memerlukan keputusan berdasarkan perhitungan Nd dan Nc sebagai ini:

- 1) Jika $Nd \leq Nc$ maka tidak membutuhkan penangkal petir.
- 2) Jika $Nd \geq Nc$ maka diperluka penangkal petir, dengan efisiensi persamaan berikut:

$$E \geq 1 - \frac{Nd}{Nc} \quad (5)$$

C. Berdasarkan Standart NFPA 780

Standar NFPA 780 hampir sama dengan cara pada PUIPP, dengan menjumlahkan sejumlah indeks yang

mewakili keadaan lokasi bangunan kemudian hasil penjumlahan dibagi dengan indeks yang mewakili isokeraunic level pada daerah tersebut. secara matematis dapat dituliskan dalam persamaan sebagai berikut ini[7]:

$$R = \frac{A+B+C+D+E}{F} \quad (12)$$

TABEL I

PERKIRAAN BAHAYA SAMBARAN PETIR BERDASARKAN NPFA 780

| No | R | Pengaman |
|----|--------------|-------------------|
| 1 | 0 – 2 | Tidak perlu |
| 2 | 2 – 3 | Disarankan |
| 3 | 3 – 4 | Disarankan |
| 4 | 4 – 7 | Sangat disarankan |
| 5 | Lebih dari 7 | Sangan penting |

D. Metode Zona Proteksi Razevig

Metode zona proteksi razevig dapat digunakan dikarenakan struktur bagian yang meruncing keatas[10]. Perhitungan luas proteksi kawasan lindung dapat dicari dengan persamaan berikut:

$$Ax = \pi r_x^2 \quad (6)$$

$$rx = \frac{1,6}{1 + \frac{h(x)}{ht}} (ht - hx) \quad (7)$$

E. Jenis Penangkal Petir

Jenis penangkal petir secara umum terbagi menjadi 3 jenis, diantaranya sebagai berikut:

1) Penangkal Petir Konvensional.

Jenis ini diluncurkan pertama kali oleh Benjamin Franklin yang bekerja dengan prinsip sederhana bahwa bentuk penangkal petir ini tajam dan diletakkan di atas sebuah bangunan[11]. Lalu dihubungkan dengan kabel konduktor, dan tertanam didalam tanah. Ada dua jenis penangkal petir konvensional, yaitu jalur elektris (kabel konduktor yang digunakan banyak) dan satu jalur atau jalur tunggal (kabel konduktor yang digunakan hanya satu).

Penangkal petir konvensional ini memiliki keunggulan dari segi harga yang terbilang murah, pemasangan cepat, hingga tempat yang dibutuhkan untuk pemasangan tidaklah banyak (hanya membutuhkan setidaknya ukuran 1 sampai 2 m saja) sehingga penangkal petir ini bisa dikatakan tepat digunakan untuk terpasang di bangunan rumah pribadi.

Penangkal petir jenis ini memiliki kelemahan, kurang terjamin untuk meredam sambaran petir. Jenis penangkal ini bersifat pasif atau menunggu, Penangkal petir hanya mengumpulkan muatan listrik tetapi tidak menarik petir. Maka belum dapat ditetapkan sambaran petir menyambar penangkal

petir, kemungkinan dapat menyerang bagian bangunan lainnya.

Kemungkinan mengenai bagian lain di luar penangkal petir masih tinggi. Bahaya bila petir mengenai tiang televisi, dikarenakan bisa merambat hingga televisi dan instalasi dalam bangunan. Hal inilah yang menjadikan kekurangan jenis konvensional, karena memiliki jangkauan proteksi terbatas. Dari segi model yang sederhana penangkal petir juga memiliki kelemahan, yakni tidak tahan dalam jangka waktu yang lama.

2) Penangkal Petir Elektrostatik.

Penangkal petir elektrostatik memakai kaidah proteksi radius atau *zone spacing*, penangkal petir jenis ini secara aktif melepaskan ion ke angkasa, sehingga petir hanya menyambar penangkal petir yang berada di bagian paling atas bangunan. Penangkal petir elektrostatik umumnya berbentuk bulat atau setengah bola[11].

Komponen dari penangkal petir jenis elektrostatik sama halnya dengan jenis penangkal petir konvensional, yakni batang (*air terminal*), kabel, dan *grounding*. Tetapi pada jenis penangkal petir elektrostatik sistem pentanahan (*grounding*) lebih terukur ketimbang sistem pentanahan dari penangkal petir konvensional.

Material atau bahan penyusun penangkal petir elektrostatik lebih baik kualitasnya. Pada beberapa merk, bahan yang digunakan sudah Standar Nasional Indonesia (SNI), sehingga tahan lama penggunaannya. Desain penangkal petir elektrostatik juga lebih modern ketimbang penangkal petir konvensional.

Penangkal petir elektrostatik juga memiliki kelemahan, yaitu dari nilai harga yang lebih mahal dibandingkan penangkal petir konvensional. Selain itu untuk pemasangan bisa mencapai 2 sampai 3 hari dan memerlukan tempat atau bak *grounding* yang lebih luas, sehingga tidak cocok untuk dipasang di bangunan rumah pribadi.

Grounding atau pentanahan merupakan salah satu komponen penting suatu sistem penangkal petir untuk menjamin keamanan, keselamatan peralatan, keselamatan lingkungan, dan keselamatan orang sekitar. Pemasangan harus mematuhi semua standard dan spesifikasi yang relevan untuk mendapatkan hasil yang diinginkan[11].

Grounding arester elektrostatik membutuhkan resistansi hingga 2 ohm untuk mencapai peredaman yang baik, bisa hingga 5 ohm. Oleh karena itu, jenis penangkal elektrostatik ini banyak digunakan untuk melindungi properti perusahaan, gedung, pabrik, gudang atau menara perusahaan.

3) Penangkal Petir Radioaktif

Penangkal petir tipe radioaktif ini hampir sama dengan jenis penangkal petir elektrostatik, yakni dengan cara melepas ion ke udara agar petir menyambar bagian puncak[12]. Penangkal petir menggunakan zat radioaktif yaitu radium 226 dan amerisium 241 untuk melepaskan ion ke udara. Namun pemakaian senyawa tersebut dianggap berbahaya dan bisa mencemari lingkungan, oleh karena itu penggunaannya sekarang banyak dilarang.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Penentuan Proteksi Petir Berdasarkan PUIPP Untuk Bangunan

Penentuan proteksi petir berdasarkan Peraturan Umum Instalasi Penangkal Petir (PUIPP) untuk bangunan yaitu semua hasil data yang telah didapatkan pada karakteristik bangunan, dan juga jumlah hari guruh atau sambaran petir pada lokasi bangunan diperoleh :

Indeks A: Pemakaian dan isi gedung yang diisi banyak orang, dan termasuk pada fasilitas belajar (sekolah) dengan nilai indeks 3

Indeks B: Kontruksi bangunan dibangun dengan kontruksi beton bertulang dengan atap logam memiliki nilai indeks 1

Indeks C:

- 1) Tinggi bangunan gedung bertingkat 1 keseluruhan berkisar 6.5 m memiliki nilai indeks 0
- 2) Tinggi bangunan gedung bertingkat 2 keseluruhan berkisar 10.8 m memiliki nilai indeks 2
- 3) Tinggi bangunan gedung bertingkat 3 keseluruhan berkisar 15.7 m memiliki nilai indeks 3

Indeks D: Situasi gedung yang dibangun pada tanah datar pada semua ketinggian memiliki nilai indeks 0

Indeks E: Data sambaran petir diambil pada jangka waktu tahun 2023 di Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika (BMKG) Malikussaleh Aceh Utara pada Lokasi Data Sambaran Petir : Kampus bukit indah, dengan titik koordinasi 5.2055^o, 97.0643^o.

Dan radius perhitungan sambaran petir 10 km dari titik koordinasi. Dari data sambaran petir yang diketahui diatas jumlah hari guruh pada lokasi bangunan dengan radius 10 km berjumlah 393 kali sambaran dengan rata-rata arus pada petir sebesar 16,414 kAmpere, memiliki nilai indeks 8.

Maka didapatkan indeks perkiraan bahaya sambaran petir (R) adalah sebagai berikut:

$$R = \text{indeks } (A + B + C + D + E)$$

$$R = 3 + 1 + 3 + 0 + 8$$

$$R = 15$$

B. Penentuan Tingkat Proteksi Bangunan Berdasarkan SNI 03-7015-2004

Penentuan tingkat proteksi bangunan berdasarkan SNI 03-7015-2004 diawali dengan menghitung kerapatan sambaran petir ke tanah tahunan (N_g), dimana dapat dicari dengan persamaan berikut:

Menghitung frekuensi sambaran petir langsung (N_d) Intensitas sambaran petir yang terjadi pada tahun 2023 di Lhokseumawe berkisar 393 Sambaran sehingga kerapatan petir ke tanah tahunan dapat dicari menggunakan persamaan berikut ini:

$$N_g = 0,04 \times Td^{1,26}$$

$$N_g = 0,04 \times 393^{1,26}$$

$$N_g = 73,3 \text{ sambaran}/\text{km}^2/\text{tahun}$$

Menghitung frekuensi sambaran petir langsung (N_d), menggunakan persamaan berikut:

1) Tinggi bangunan gedung bertingkat 1 berkisar 6.5 m:

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

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

$$A_e = 72.5 \times 8 + 6 \times 6.5(72.5 + 8) + 9 \times 3.14 \times 6.5^2$$

$$A_e = 580 + 3139.5 + 1193.985$$

$$A_e = 4913.485 \text{ m}^2$$

$$N_d = 73.3 \times 4913.485 \times 0.000001$$

$$N_d = 0.36$$

2) Tinggi bangunan gedung bertingkat 1 berkisar 10.8 m

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

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

$$A_e = 72.5 \times 8 + 6 \times 10.8(72.5 + 8) + 9 \times 3.14 \times 10.8^2$$

$$A_e = 580 + 5410.8 + 3296.246$$

$$A_e = 9287.046 \text{ m}^2$$

$$N_d = 73.3 \times 9287.046 \times 0.000001$$

$$N_d = 0.68$$

3) Tinggi bangunan gedung bertingkat 1 berkisar 15.7 m

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

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

$$A_e = 72.5 \times 8 + 6 \times 15.7(72.5 + 8) + 9 \times 3.14 \times 15.7^2$$

$$A_e = 580 + 7583.1 + 6965.8$$

$$A_e = 15128,9 \text{ m}^2$$

$$N_d = 73,3 \times 15128,9 \times 0,000001$$

$$N_d = 1,1089$$

Sehingga nilai $N_d \geq N_c$, maka nilai efisiensi sistem penangkal petir dapat dicari berdasarkan persamaan rumus sebagai berikut:

1) Tinggi bangunan gedung bertingkat 1 berkisar 6.5 m:

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

$$E \geq 1 - \frac{0.1}{0.36}$$

$$E \geq 1 - 0,090$$

$$E \geq 0.72$$

$$E \geq 72\%$$

2) Tinggi bangunan gedung bertingkat 2 berkisar 10.8 m:

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

$$E \geq 1 - \frac{0.1}{0.68}$$

$$E \geq 1 - 0.147$$

$$E \geq 0,85$$

$$E \geq 85\%$$

3) Tinggi bangunan gedung bertingkat 3 berkisar 15.7 m:

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

$$E \geq 1 - \frac{0.1}{1,1089}$$

$$E \geq 1 - 0,090$$

$$E \geq 0,9098$$

$$E \geq 91\%$$

Dari hasil nilai efisiensi didapatkan bahwa gedung bertingkat memiliki nilai efisiensi yang berbeda sesuai dengan tinggi dari sebuah bangunan. Kategori penentu tingkat proteksi sambaran petir dipengaruhi oleh beberapa faktor diantaranya: frekuensi sambaran petir pada daerah setempat tersebut, tinggi serta luas bangunan ataupun suatu gedung yang dijadikan objek suatu penelitian. Jika semakin tinggi bangunan dan intensitas sambaran petir daerah tersebut maka akan semakin tinggi pula tingkat proteksi sambaran petir yang diperlukan suatu bangunan.

C. Metode Zona Proteksi Razevig

Dengan ketinggian bangunan gedung bertingkat yang berkisar 6.5 m, 10.8 m, 15.7 m dengan luas bangunan 72,5 m dapat dicari luas proteksi zona perlindungan menggunakan Metode zona proteksi razevig dicari menggunakan persamaan dibawah berikut ini:

1) Tinggi bangunan gedung bertingkat 1 berkisar 6.5 m:

$$Ax = \pi r_x^2$$

$$rx = \frac{1.6}{1 + \frac{hx}{ht}} (ht - hx)$$

$$rx = \frac{1.6}{1 + \frac{6.5}{20.3}} (20.3 - 6.5)$$

$$rx = \frac{1.6}{1 + 0,3201970443} \quad (13.8)$$

$$rx = \frac{1.6}{1.3201970443} \quad (13.8)$$

$$rx = 1.2119402985 \quad (13.8)$$

$$rx = 16.7247761193 \text{ m}$$

Jadi untuk daerah proteksinya adalah sebagai berikut:

$$Ax = \pi r_x^2$$

$$\begin{aligned} Ax &= 3.14 \times (16.7247761193)^2 \\ Ax &= 3.14 \times 279.7181362407 \\ Ax &= 878.3149477958 \text{ m}^2 \\ Ax &= 878.314 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

- 2) Tinggi bangunan gedung bertingkat 2 berkisar 10.8 m:

$$\begin{aligned} Ax &= \pi r_x^2 \\ rx &= \frac{1.6}{1+\frac{hx}{ht}} (ht - hx) \\ rx &= \frac{1.6}{1+\frac{10.8}{20.3}} (20.3 - 10.8) \\ rx &= \frac{1.6}{1+0.5320197044} \quad (9.5) \\ rx &= \frac{1.6}{1.5320197044} \quad (9.5) \\ rx &= 1.0443729904 \quad (9.5) \\ rx &= 9.9215434088 \text{ m} \end{aligned}$$

Jadi untuk daerah proteksinya adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned} Ax &= \pi r_x^2 \\ Ax &= 3.14 \times (9.9215434088)^2 \\ Ax &= 3.14 \times 98.4370236127 \\ Ax &= 309.0922541439 \text{ m}^2 \\ Ax &= 309.1 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

- 3) Tinggi bangunan gedung bertingkat 3 berkisar 15.7 m:

$$\begin{aligned} Ax &= \pi r_x^2 \\ rx &= \frac{1.6}{1+\frac{hx}{ht}} (ht - hx) \\ rx &= \frac{1.6}{1+\frac{15.7}{20.3}} (20.3 - 15.7) \\ rx &= \frac{1.6}{1+0.7733990148} \quad (4.6) \\ rx &= \frac{1.6}{1.7733990148} \quad (4.6) \\ rx &= 0.9022222222 \quad (4.6) \\ rx &= 4.1502222221 \text{ m} \end{aligned}$$

Jadi untuk daerah proteksinya adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned} Ax &= \pi r_x^2 \\ Ax &= 3.14 \times (4.1502222221)^2 \\ Ax &= 3.14 \times 17.2243444928 \\ Ax &= 54.0844417074 \text{ m}^2 \\ Ax &= 54.1 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

Luas daerah yang terproteksi atau terlindungi pada bangunan bertingkat 1 sebesar 878.314 m², bertingkat 2 sebesar 309.1 m², dan bertingkat 3 sebesar 54.1 m². Untuk bertingkat 1 dan 2 hanya perlu dipasang satu penangkal petir tetapi pada bertingkat 3 hanya sekitar kurang lebih 75% luas dari bangunan yang terproteksi dari sambaran petir dan sekitar kurang lebih 25% luas bangunan tidak terproteksi oleh sambaran petir. Ini berarti Seharusnya untuk melindungi seluruh luas atau panjang bangunan, perlu dipasang penyalur petir sebanyak:

$$\begin{array}{l} \text{Penyalur petir} \\ \text{tambahan} \end{array} : \left(\frac{\text{luas area}}{\text{luas daerah proteksi}} \right)$$

$$\begin{array}{l} \text{Penyalur} \\ \text{tambahan} \end{array} \begin{array}{l} \text{petir} \\ \text{petir} \end{array} : \begin{array}{l} \left(\frac{72,5 \text{ m}^2}{54,1 \text{ m}^2} \right) \\ : 1,3 \text{ buah} = 1 \text{ buah} \end{array}$$

IV. KESIMPULAN

Dari penjabaran dasar teori, data hasil perhitungan dan simulasi pemodelan beban sistem penangkal petir pada Gedung Perpustakaan dan Pusat Kegiatan Mahasiswa dapat ditarik kesimpulan:

- 1) Dari perhitungan menurut indeks – indeks penentu PUIPP Gedung bertingkat yang dibangun pada titik koordinat Bukit Indah dengan radius 10 km sangat dianjurkan untuk terpasang sistem proteksi penangkal petir karena intensitas sambaran petir di daerah tersebut terbilang tinggi.
- 2) Dari hasil nilai efisiensi 72%, 85%, 91% didapatkan bahwa gedung bertingkat yang dibangun di daerah Bukit Indah masuk kedalam Tingkat Proteksi II dan IV.
- 3) Perhitungan Metode Zona Proteksi Razevig untuk mencari jarak zona aman perlindungan pada penangkal petir mencapai 878.314 m², 309.1 m², dan 54.1 m². Pada metode ini didapatkan semakin rendah suatu bangunan akan semakin tinggi radius proteksi dari penangkal petir yang akan dipasang.

V. REFERENSI

- [1] Y. Ugahari and I. Garniwa, "Analisis Proteksi Sambaran Petir Eksternal Menggunakan Metode Collection Volume Studi Kasus Gedung Fakultas Teknik Universitas Indonesia," *Depok Univ. Indones.*, vol. Volume Stu, pp. 1–7, 2009.
- [2] R. Zoro, K. E. Widodo, and H. Laksmiwati, "External Lightning Protection System at Pulp and Paper Industry in Areas with High Lightning Density," in *2018 Conference on Power Engineering and Renewable Energy (ICPERE)*, 2018, pp. 1–5, doi: 10.1109/ICPERE.2018.8739688.
- [3] E. Spunei, I. Piroi, and F. Piroi, "Finding the Minimal Fitting Distance of a Lightning Rod Down-Conductor," *2019 Int. Conf. Electromechanical Energy Syst. SIELMEN 2019 - Proc.*, pp. 1–4, 2019, doi: 10.1109/SIELMEN.2019.8905894.
- [4] 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.
- [5] S. Saodah *et al.*, "Studi Awal Alat Proteksi Petir Dengan Metode," pp. 131–136, 1993.
- [6] S. Bandri, "Sistem proteksi petir internal dan

- eksternal,” vol. 3, no. 1, 2014.
- [7] U. Situmeang, “Perancangan Kinerja Penangkal Petir Menggunakan Metoda Bola Gelinding Pada Gedung Perpustakaan Universitas Lancang Kuning Pekanbaru,” *J. Sains, Teknol. dan Ind.*, vol. 13, no. 1, pp. 130–135, 2015.
- [8] M. Septian, “Desain Sistem Proteksi Petir Internal Pada Pembangkit Listrik Tenaga Surya,” *Energi & Kelistrikan*, vol. 2012, pp. 1–6.
- [9] Emmy Hosea, Edy Iskanto, and Harnyatris M. Luden, “Penerapan Metode Jala Sudut Proteksi dan Bola Bergulir Pada Sistem Proteksi Petir Eksternal yang Diaplikasikan pada Gedung W Universitas Kristen Petra,” *J. Tek. Elektro*, vol. 4, no. 1, pp. 1–9, 2004, [Online]. Available: <http://puslit2.petra.ac.id/ejournal/index.php/elek/article/view/15880>.
- [10] S. Wahyu Pratomo, “Perancangan Sistem Penangkal Petir Eksternal Pada Airnav Indonesia Cabang Yogyakarta,” 2018, [Online]. Available: <https://dspace.uui.ac.id/handle/123456789/12605>.
- [11] G. U. Hardi, R. Putri, and F. A. Nasution, “Ground type resistance earthing system using bar electrodes,” vol. 11, no. 3, pp. 116–125, 2023.
- [12] A. Suryadi, “Perancangan Instalasi Penangkal Petir Eksternal Politeknik Enjinerig Indorama,” *Sinergi*, vol. 21, no. 3, p. 219, 2017, doi: 10.22441/sinergi.2017.3.009.