

Desain Pemasangan *Lightning Rod* pada Hotel Kimaya Kota Yogyakarta

Christina Manitik*, Budi Utama, Diah Suwarti Widyastuti
Program Studi Teknik Elektro, Institut Teknologi Nasional Yogyakarta

Article Info

Article history:

Submitted July 21, 2023
Accepted August 29, 2023
Published August 29, 2023

Keywords:

Petir,
Lightning Rod,
Metode Bola
Gelinding

Lightning,
Lightning Rod,
Rolling Sphere
Method

ABSTRACT

Penelitian ini bertujuan untuk mendesain pemasangan *lightning rod* sehingga diharapkan dapat secara optimal memproteksi bangunan hotel Kimaya Yogyakarta. Desain yang digunakan adalah dua dan empat *lightning rod* dengan menerapkan metode bola gelinding (*Rolling Sphere Method*) pada kedua desain tersebut dengan Amplitudo 10 kA. Hasil analisis antara dua dan empat *lightning rod* diperoleh kesimpulan bahwa kedua desain tersebut belum dapat memproteksi hotel secara optimal dari sambaran petir, maka dari itu perlu adanya penambahan dua tanduk pada sudut bangunan sehingga bola tidak menyentuh bangunan dan melindungi hotel dari sambaran petir. Area permukaan yang diciptakan oleh dua *lightning rod* adalah 6.082 m², area terproteksi yang diciptakan oleh empat *lightning rod* adalah 11.689 m². Sedangkan dengan adanya penambahan dua tanduk pada sudut bangunan menciptakan area terproteksi seluas 13.684 m².

This study aims to design the installation of lightning rods so that they are expected to optimally protect the building of hotel Kimaya Yogyakarta. The design used is two and four lightning rods by applying the rolling ball method (Rolling Sphere Method) in both designs with an Amplitude of 10 kA. The results of the analysis between two and four lightning rods concluded that the two designs have not been able to protect the hotel optimally from lightning strikes, therefore it is necessary to add two horns at the corner of the building so that the ball does not touch the building and protect the hotel from lightning strikes. The surface area created by the two lightning rods is 6.082 m², the protected area created by the four lightning rods is 11.689 m². Meanwhile, the addition of two horns at the corner of the building creates a protected area, which is 13.684 m².



Corresponding Author:

Christina Manitik
Program Studi Teknik Elektro, Institut Teknologi Nasional
Yogyakarta Kampus ITNY, Babarsari, Caturtunggal, Depok, Sleman,
Email: *christinaangely@gmail.com

1. PENDAHULUAN

Petir adalah gejala dan fenomena alam yang disebabkan oleh perbedaan potensial antara tanah dan awan. Petir dianalogikan seperti kapasitor raksasa di mana awan sebagai lempeng pertama dan lempeng kedua adalah bumi yang merupakan lempeng netral. Kapasitor adalah komponen pasif yang dapat menyimpan energi sesaat. Petir juga dapat terjadi dari awan ke awan, di mana satu awan berperan sebagai muatan negatif dan awan lainnya bermuatan positif [1].

Indonesia berada di daerah khatulistiwa, sehingga Indonesia memiliki iklim tropis dan tingkat kelembagaan yang tinggi. Oleh karenanya Indonesia mempunyai hari guruh yang lebih tinggi jika dibandingkan dengan negara lain yaitu antara 100-200 hari guruh per tahun. Kerusakan peralatan listrik yang disebabkan tegangan lebih akibat surja petir berdasarkan angka statistik mencapai 31,68%. Persentase ini merupakan terbesar dibandingkan dengan penyebab-penyebab lain pada kerusakan piranti listrik. Hal ini menunjukkan bahwa petir datang setiap tahun dan perlunya melindungi setiap bangunan yang rawan terhadap petir [2].

Membangun hotel bertingkat adalah pilihan alternatif karena keterbatasan lahan yang tersedia untuk membangun. Sebaliknya, untuk hotel dengan bangunan tinggi, semakin tinggi bangunannya, maka semakin besar dampak interferensi petir. Untuk itu bangunan Gedung perlu dilindungi dari sambaran petir karena sambaran petir sangat merugikan manusia seperti dapat merusak konstruksi bangunan, kebakaran, kerusakan pada peralatan hingga kematian. Maka diperlukan perlindungan dan pencegahan untuk meminimalkan kerusakan-

kerusakan. hotel Kimaya Yogyakarta adalah hotel yang terletak di tengah kota Yogyakarta, tepatnya di Jalan Jendral Sudirman No. 89, Terban, Kecamatan Gondokusuman Kota Yogyakarta, daerah Istimewa. hotel ini memiliki luas keseluruhan 28.717,6 m².

Berdasarkan latar belakang yang telah dijabarkan di atas, maka diperlukan adanya desain *lightning rod* sebagaimana beberapa penelitian lain [3][4][5]. *Lightning rod* yang digunakan pada penelitian ini menggunakan metode bola gelinding (*Rolling Sphere Method*). Penelitian ini mendesain penempatan *lightning rod* pada hotel Kimaya Kota Yogyakarta dan memberikan hipotesis yang sesuai untuk perencanaan pembangunan *lightning rod* dan tidak membahas tentang probabilitas dan jumlah sambaran petir yang dapat diproteksi oleh *lightning rod*. Penelitian ini tidak membahas tentang pentanahan. Perbedaan penelitian ini dengan penelitian sebelumnya terletak pada desain yang digunakan, yaitu menggunakan 2 dan 4 *Triangle Tower* dengan 2 dan 4 *lightning rod* di atasnya dengan penambahan 2 tanduk pada setiap sudut bangunan agar mendapatkan luasan area yang mampu melindungi bangunan secara keseluruhan [6].

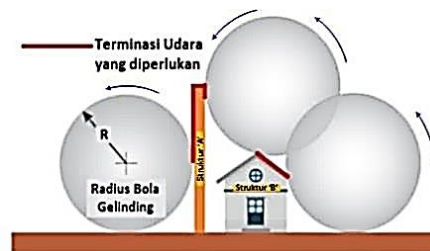
2. METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan metode bola bergulir (*Rolling Sphere Methode*, RSM) agar mendapatkan keandalan dan keamanan yang baik [7][8][9][10][11][12]. Metode ini adalah suatu teknik sederhana yang digunakan untuk menerapkan teori elektroteometri pada perlindungan suatu struktur. Teknik ini dijalankan dengan cara menggulirkan sebuah bola imajiner dengan jari-jari yang telah ditentukan atas permukaan struktur yang dilindungi. Jari-jari bola adalah disamakan dengan jarak sambaran dengan menerapkan pada model elektroteometri [11].

2.1 Metode Bola Gelinding (*Rolling Sphere Method*)

Metode Bola Gelinding (MBG), juga dikenal sebagai *Rolling Sphere Method* (RSM), berguna untuk merancang sistem proteksi petir pada struktur yang kompleks. Metode ini dapat menggambarkan zona atau area yang harus dilindungi, serta menghitung volume dan luas permukaan yang perlu diproteksi. Selain itu, metode ini juga menyediakan perisai atau busur perlindungan untuk setiap amplitudo arus petir.

Penerapan metode ini didasarkan pada model elektroteometris (*Electroteometric-modelling*). Model ini adalah suatu representasi dari suatu fasilitas yang dilengkapi dengan analisis yang sesuai dan menghubungkan dimensinya dengan arus sambaran petir. Model ini memiliki kemampuan untuk memprediksi apakah sambaran balasan pertama dari petir akan berakhir pada sistem perlindungan, ke bumi/tanah, atau pada elemen fasilitas yang dilindungi/diproteksi. Teori model elektroteometri adalah suatu konsep yang menjelaskan model elektroteometri bersama-sama dengan analisis kuantitatif yang terkait, termasuk hubungan antara jarak sambaran (S) dan parameter listrik petirnya, seperti muatan dan arus puncak petirnya, pada saat sambaran balasan pertama [14][15][16]. Hal ini dilihat pada Gambar 1 [13].



Gambar 1. Aplikasi Metode Bola Gelinding

Persamaan yang terkait dengan jarak dan arus puncak yang digunakan mengikuti Persamaan (1).

$$d_s = (10) \cdot (I_p)^{0,65} \quad (1)$$

dengan:

d_s : Jarak Sambaran (meter)

I_p : Amplitudo arus petir (kilo Ampere)

(10 dan 0.65 adalah konstanta yang menempel pada rumus)

2.2 Konsep Metode Bola Gelinding

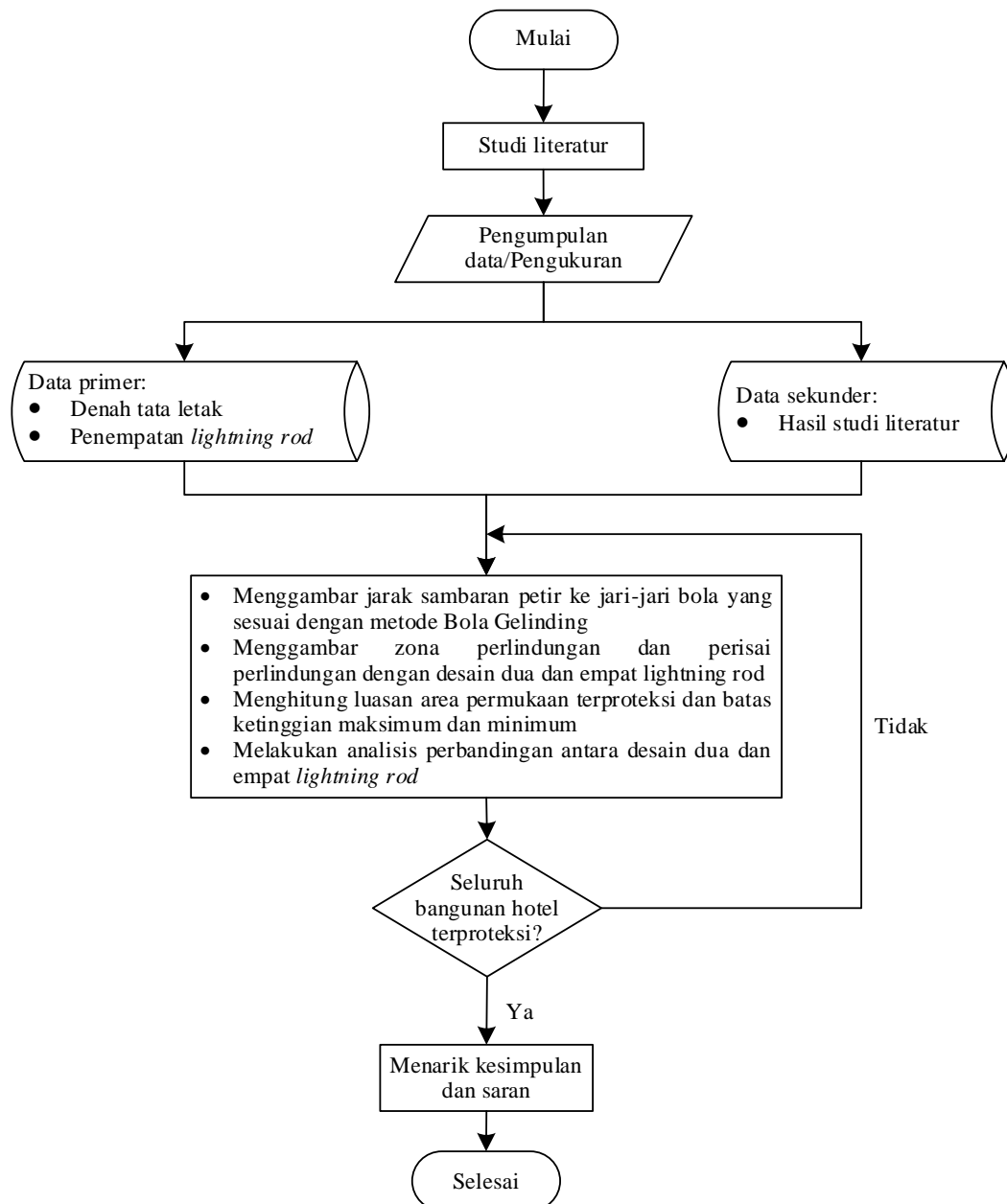
Metode bola gelinding adalah suatu teknik sederhana untuk menerapkan teori elektroteometri pada perlindungan suatu struktur. Teknik ini dikerjakan dengan menggulirkan bola imajiner (maya) dengan jari-jari yang telah ditentukan atas permukaan struktur yang dilindungi. Jari-jari bola adalah disamakan dengan jarak sambaran (d_s) dengan menerapkan pada model elektroteometri [13].

2.3 Langkah-langkah Penelitian

Penelitian ini diperlukan langkah-langkah agar mendapatkan desain yang baik pada pemasangan *lightning rod* dengan menggunakan metode bola gelinding (*Rolling Spahre Method*) pada hotel Kimaya Yogyakarta. Adapun langkah-langkah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Pengambilan data bangunan berupa dimensi panjang, lebar, luas keseluruhan serta tinggi bangunan dan lapisan/tingkat dan juga profil hotel Kimaya Yogyakarta.
2. Melakukan studi literatur dan menentukan metode proteksi petir yang digunakan.
3. Mendesain penempatan pemasangan *lightning rod* pada hotel Kimaya menggunakan aplikasi Visio dengan metode bola gelinding (*Rolling Sphere Method*) dengan tiga *lightning rod*.
4. Melakukan analisis dan perbandingan antara desain dua *lightning rod* dan tiga *lightning rod* untuk mendapatkan luasan area yang terproteksi yang lebih baik dan efektif pada hotel Kimaya.
5. Memberikan hipotesis, pembahasan dan kesimpulan untuk memperoleh hasil dalam melakukan desain penempatan pemasangan *lightning rod* hotel Kimaya Yogyakarta.

Flowchart penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 2.



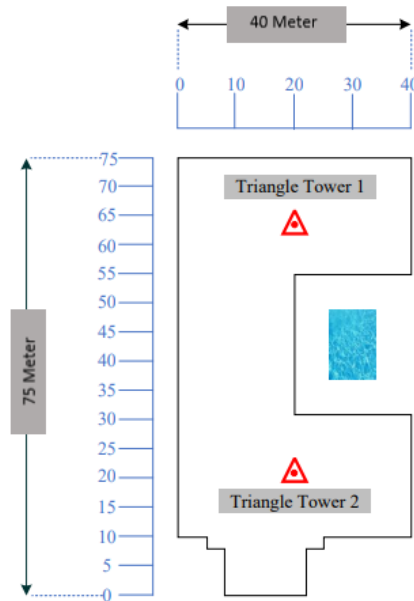
Gambar 2. Flowchart Penelitian

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Hasil Desain Dua *Lightning Rod*

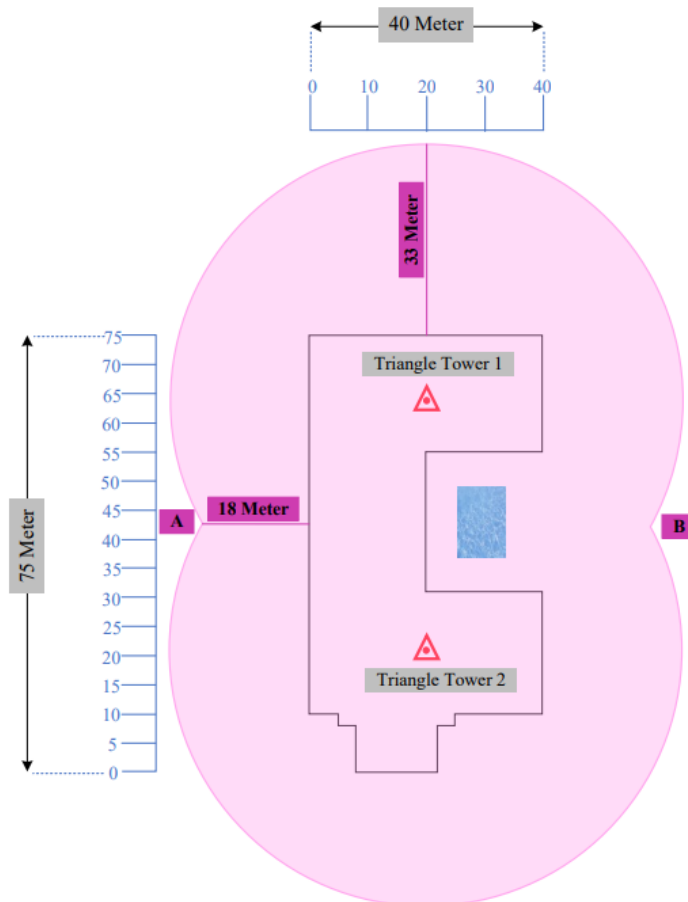
hotel Kimaya Yogyakarta memiliki dimensi panjang 75 meter dan lebar 40 meter. Desain pertama adalah pemasangan dua *triangle tower* yang diletakkan *lightning rod* di atasnya dengan masing-masing *tower* adalah 12 meter yang diletakkan dengan jarak 43 meter dari kedua *triangle tower* tersebut. Metode ini, kemudian dianalisis dengan menggunakan metode bola gelinding (*Rolling Sphere Method*) untuk mendapatkan luasan area

permukaan yang terproteksi, perisai perlindungan dan juga kawasan yang terproteksi. Hal ini dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Tampak atas hotel Kimaya dengan dua *triangle tower*.

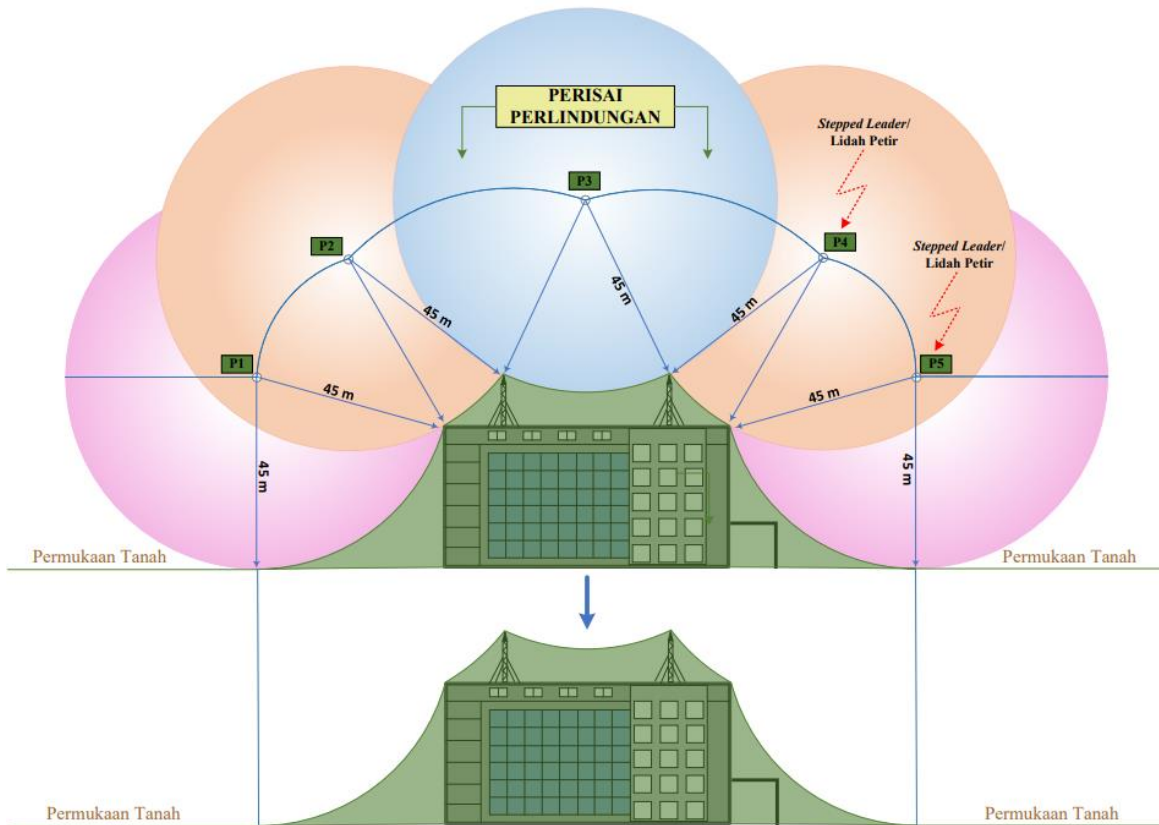
Luasan area permukaan yang terproteksi menggunakan dua *lightning rod* dapat dilihat pada Gambar 4. Pada sisi lebar terproteksi sejauh 18 meter dari belakang hotel dan 33 meter dari depan hotel di atas permukaan tanah pada sisi lebar hotel. Sementara itu, pada sisi panjang terproteksi 30 meter.



Gambar 4. Tampak atas luasan area permukaan yang terproteksi menggunakan dua *lightning rod*

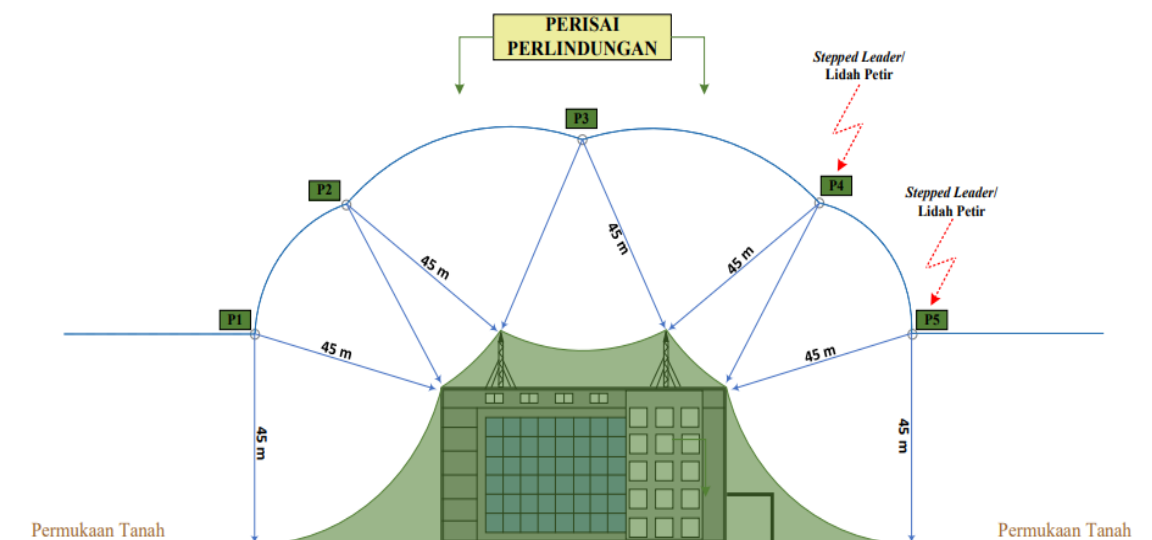
3.1.1 Perisai dan zona perlindungan

Jika lidah petir menyentuh persis titik P1, maka ada 2 kemungkinan, bisa diarahkan menuju sudut bangunan atau diarahkan menuju tanah. Sementara itu, jika lidah petir persis menyentuh P2 dan P3, maka akan menyentuh LR1 atau LR2. Dan ketika lidah petir juga menyentuh persis P4, maka akan menyentuh LR2 atau langsung menuju sudut bangunan. Sedangkan jika lidah petir persis menyentuh P5, maka akan menyentuh sudut bangunan atau bisa diarahkan menuju tanah. Hal ini dapat dilihat pada Gambar 5.



Gambar 5. Perisai perlindungan menggunakan dua *lightning rod*

Kawasan terproteksi yang terlihat dari tampilan sisi lebar tampak depan hotel Kimaya dapat dilihat pada Gambar 6.

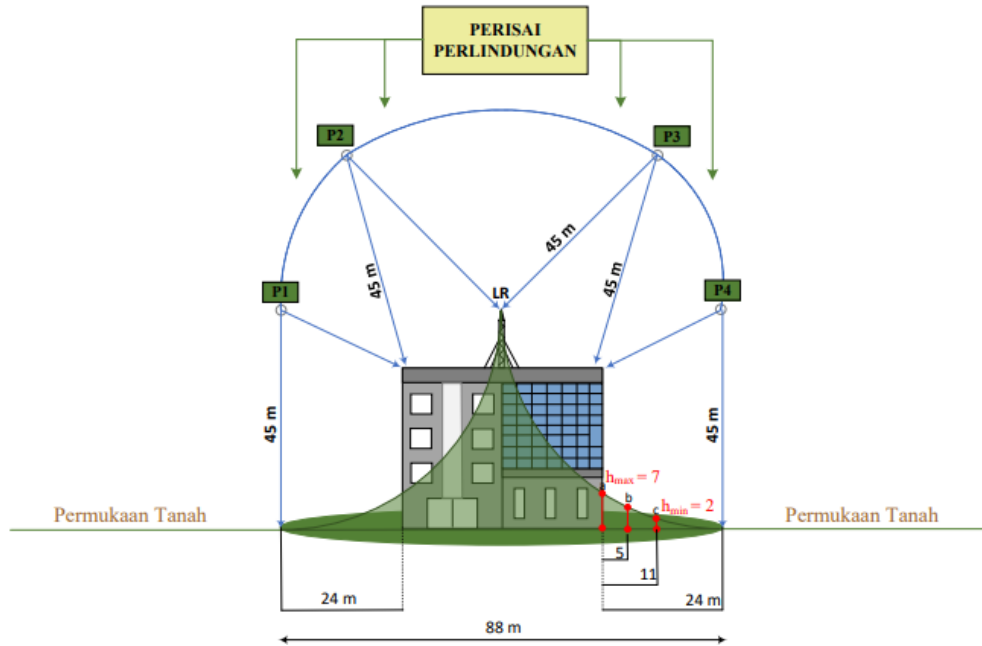


Gambar 6. Tampilan sisi lebar tampak depan dengan dua *lightning rod*

3.1.2 Luasan Permukaan dan Batas Ketinggian Terproteksi

Dari desain pemasangan *lightning rod* dengan menggunakan desain dua *lightning rod* pada hotel Kimaya, maka diperoleh diameter area permukaan yang terproteksi adalah 88 meter. Luasan area terproteksi

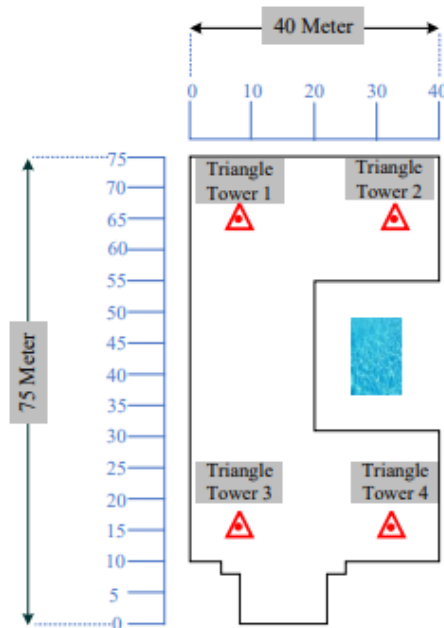
pada permukaan tanah seluas $(\pi \times (88/2)^2 = 6.082 \text{ m}^2$ dengan batas aman maksimum ketinggian objek pada sisi lebar hotel adalah setinggi $h_{max} = 7$ meter dan ketinggian kritis minimum $h_{min} = 2$ meter dengan jarak 11 meter dari lebar hotel. Luasan area permukaan terproteksi dan batas ketinggian maksimum dan minimum dengan menggunakan dua *lightning rod* dapat dilihat pada Gambar 7.



Gambar 7. Luasan permukaan terproteksi dan batas ketinggian maksimum dan minimum pada kedua sisi lebar hotel

3.2 Desain Empat *Lightning Rod*

Desain kedua adalah pemasangan empat *triangle tower* yang diletakkan *lightning rod* di atasnya. Masing-masing *tower* adalah 12 meter yang diletakkan dengan jarak 20 meter dari sisi lebar dan 50 meter dari sisi panjang keempat *triangle tower* tersebut. Metode ini kemudian dianalisis dengan menggunakan metode bola gelinding (*Rolling Sphere Method*) untuk mendapatkan luasan area permukaan yang terproteksi, perisai perlindungan dan juga kawasan yang terproteksi. Hal ini dapat dilihat pada Gambar 8.



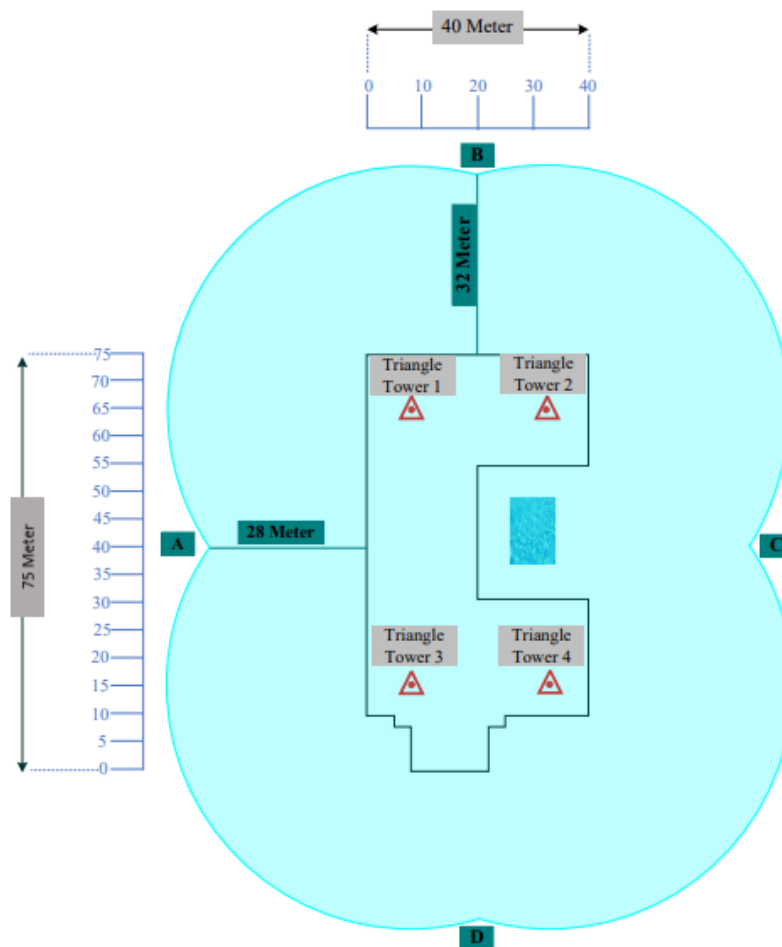
Gambar 8. Tampak atas hotel Kimaya dengan desain empat *triangle tower*

3.2.1 Perhitungan Diameter Bola dengan Metode Bola Gelinding

Amplitudo sambaran petir yang digunakan pada desain empat *lightning rod* ini adalah 10 kA dengan tingkat *probability* keterjadiannya adalah 15 %. Dengan menggunakan metode bola gelinding (*Rolling Sphere Method*) pada desain empat *lightning rod*, maka dihasilkan $d_s = 44,66$ meter. Sehingga diperoleh panjang jari-jari bola untuk setiap amplitudo petir 10 kA adalah 44,66 meter. Akan tetapi untuk memudahkan dalam melakukan penggambar dan penskalaan pada gambar, maka panjang jari-jari bola dibulatkan menjadi 45 meter.

3.2.2 Hasil Desain Empat *Lightning Rod*

Desain kedua yaitu menggunakan empat *lightning rod* dengan Amplitudo 10 kA dan menerapkan metode bola gelinding (*Rolling Sphere Method*). Di sini diperoleh hasil luasan area yang terproteksi pada permukaan tanah. Pada sisi lebar B pada bagian belakang hotel dapat terproteksi sejauh 32 meter pada sisi lebar D bagian depan hotel. Jika diukur dari teras hotel, maka hotel terproteksi sejauh 26 meter di atas permukaan tanah dan pada sisi panjang hotel yaitu pada titik A dan C masing-masing dapat terproteksi sejauh 28 meter. Dari hasil desain ini didapatkan luasan area permukaan yang terproteksi dengan menggunakan empat *lightning rod* sebagaimana Gambar 9.

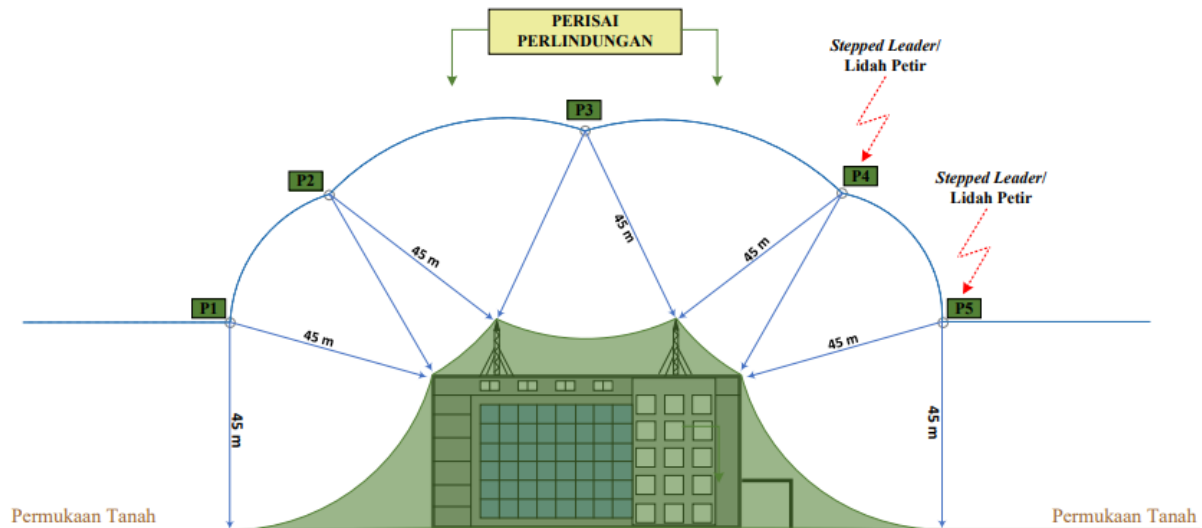


Gambar 9. Tampak atas luasan area yang terproteksi dengan menggunakan empat *lightning rod*

3.2.3 Perisai dan Zona Perlindungan

Apabila sebuah lidah petir (*stepped leader*) dengan Amplitudo 10 kA menyentuh busur antara P1 dan P2, maka lidah petir tersebut akan diarahkan menuju *lightning rod* (LR1). Ketika lidah petir menyentuh busur P2 dan P3, maka akan diarahkan menuju *lightning rod* (LR2). Sementara itu, ketika lidah petir menyentuh busur P3 dan P4, maka akan diarahkan menuju *lightning rod* (LR2). Dan apabila lidah petir menyentuh busur antara P4 dan P5, maka akan diarahkan menuju sudut bangunan yang tidak terproteksi atau bisa diarahkan menuju tanah.

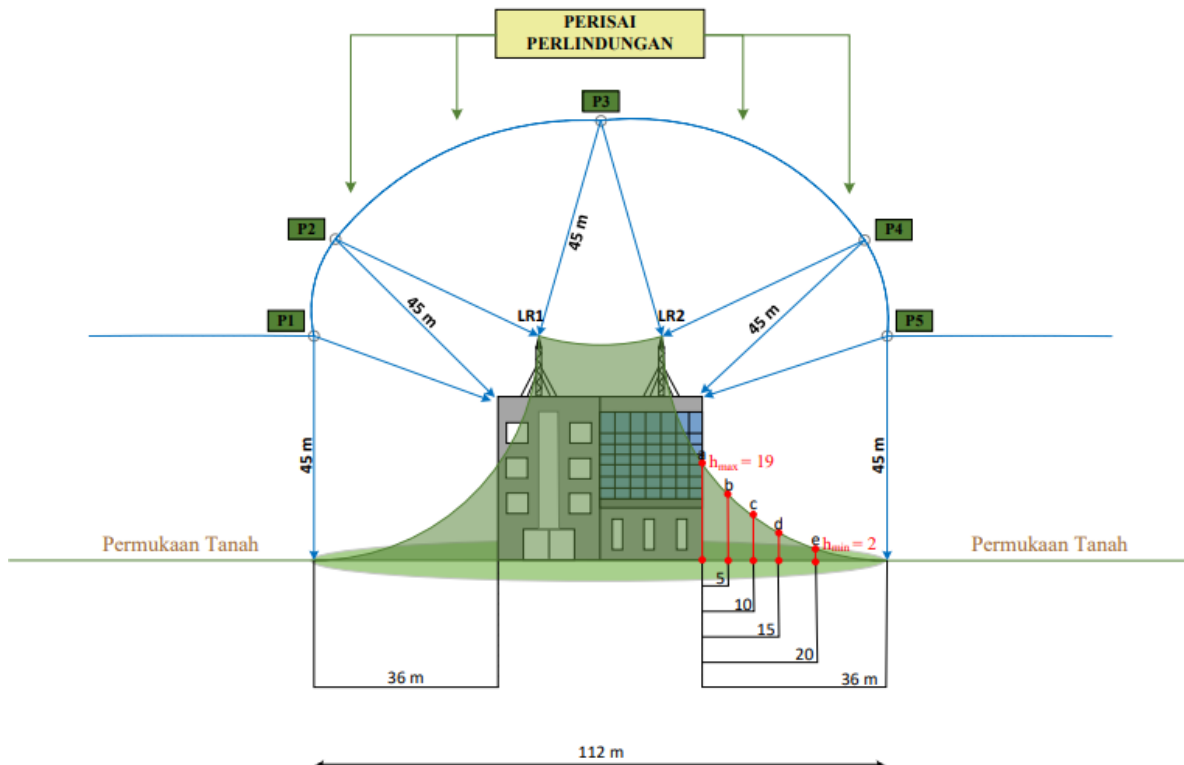
Jika lidah petir menyentuh persis dititik P1, maka ada 2 kemungkinan, bisa diarahkan menuju sudut bangunan yang tidak terproteksi atau diarahkan menuju tanah. Jika lidah petir persis menyentuh P2 dan P3, maka akan menyentuh LR1 atau LR2. Ketika lidah petir juga menyentuh persis P4, maka akan menyentuh LR2 atau sudut bangunan. Sedangkan jika lidah petir persis menyentuh P5, maka akan menyentuh langsung sudut bangunan yang belum terproteksi atau bisa diarahkan menuju tanah. Hal ini dapat dilihat pada Gambar 10.



Gambar 10. Perisai perlindungan dan kawasan yang terproteksi menggunakan empat *lightning rod*

3.2.4 Luasan Permukaan dan Batas Ketinggian Terproteksi

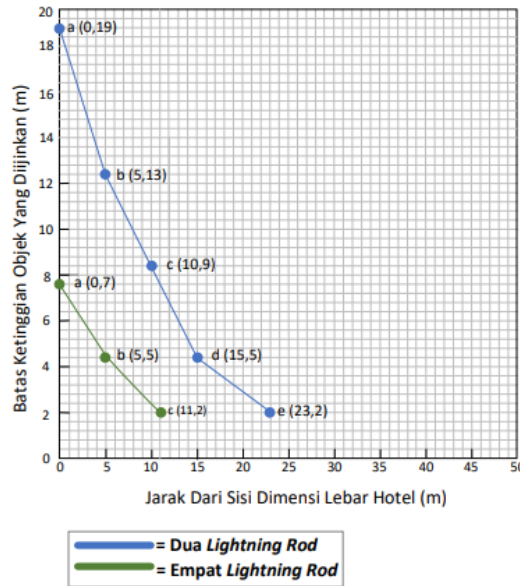
Dari desain pemasangan *lightning rod* dengan menggunakan desain empat *lightning rod* pada hotel Kimaya diperoleh diameter area permukaan yang terproteksi adalah 112 meter. Sehingga diperoleh hasil luasan area terproteksi pada permukaan tanah seluas $\pi \times (112/2)^2 = 11.689 \text{ m}^2$ dengan batas aman maksimum ketinggian objek pada sisi lebar hotel adalah setinggi $h_{max} = 19$ meter dan ketinggian kritis minimum $h_{min} = 2$ meter dengan jarak 20 meter dari lebar hotel. Hal ini dapat dilihat pada Gambar 11.



Gambar 11. Luasan permukaan terproteksi dan batas ketinggian maksimum dan minimum pada kedua sisi lebar hotel

3.3 Kurva Zona Aman dan Zona Kritis Desain Dua *Lightning Rod* dan Empat *Lightning Rod*

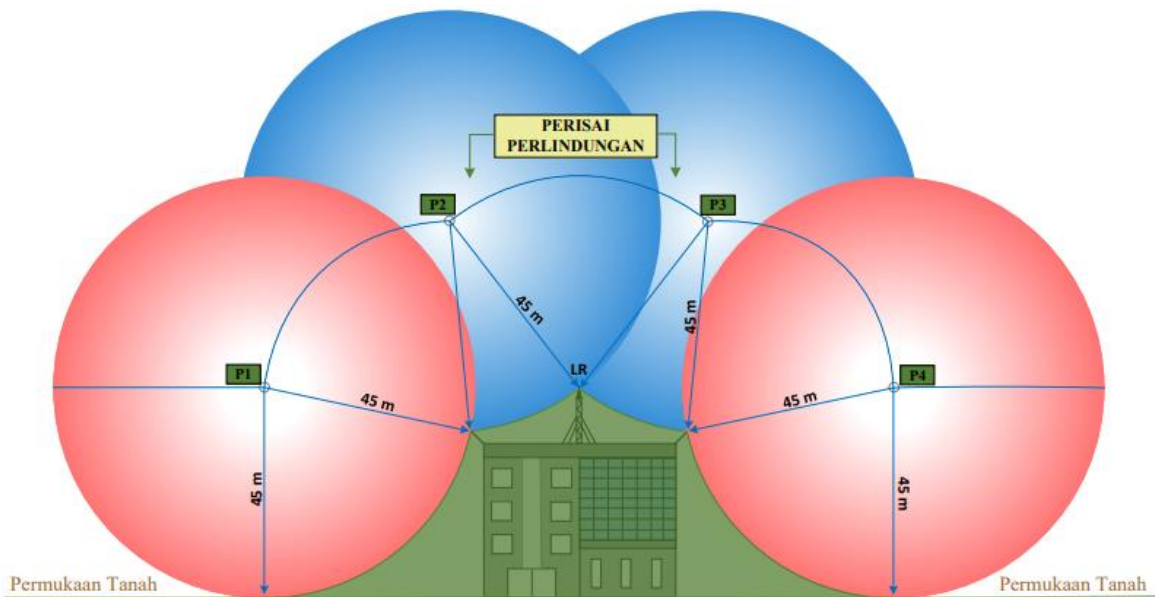
Berdasarkan hasil dan pembahasan pada desain dua *lightning rod* dan desain empat *lightning rod*, maka dapat dibuat sebuah perbandingan kurva zona aman dan zona kritis yang diizinkan pada sisi lebar hotel serta zona proteksi sebagaimana Gambar 12.



Gambar 12. Kurva Perbandingan Zona Aman dan Zona Kritis

3.4 Penambahan Dua Tanduk Pada Sudut Bangunan

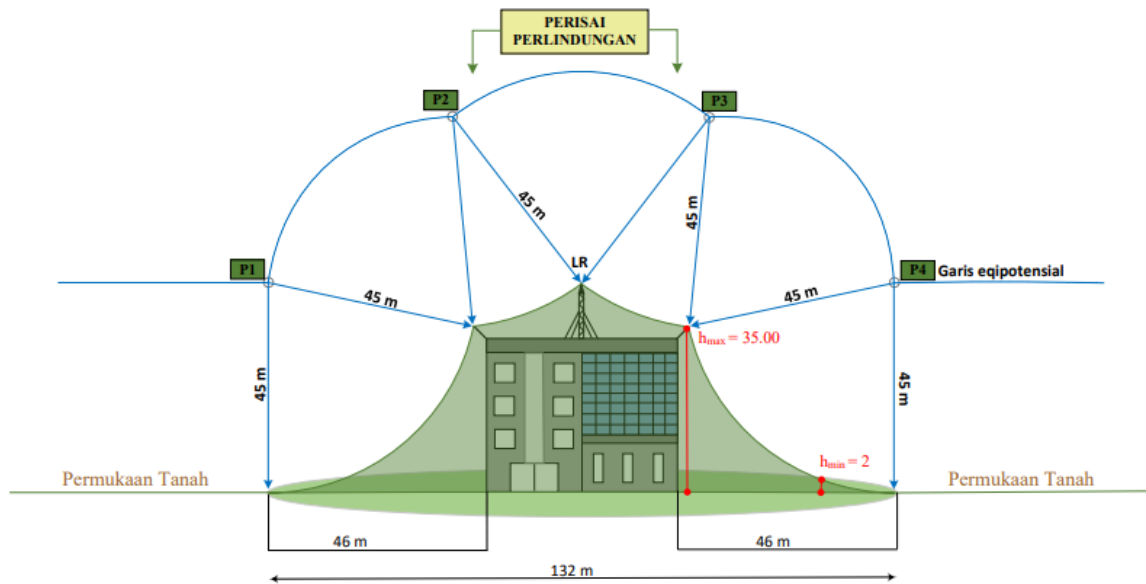
Penambahan dua tanduk *lightning rod* pada sudut bangunan hotel dengan menggunakan desain pertama agar mendapatkan zona proteksi yang sesuai dan mampu memproteksi hotel Kimaya dengan baik sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 13.



Gambar 13. Tampilan sisi lebar tampak depan kawasan yang terproteksi dengan dua *lightning rod* dan penambahan dua tanduk pada sudut bangunan.

Jika lidah petir menyentuh persis titik P1, maka ada 2 kemungkinan, bisa diarahkan menuju tanah atau menuju tanduk pada sudut bangunan, kemudian diarahkan melalui *down conductor* lalu selanjutnya diarahkan ke dalam tanah oleh *Ground Rod*. Sementara itu, jika lidah petir persis menyentuh P2 dan P3, maka akan menyentuh *Lightning Rod*. Ketika lidah petir juga menyentuh persis P4, maka akan menyentuh menuju tanduk pada sudut bangunan dan diarahkan melalui *down conductor* lalu selanjutnya diarahkan ke dalam tanah oleh *Ground Rod*. Hal ini dapat dilihat pada Gambar 14.

Dari desain pemasangan *lightning rod* dengan menggunakan desain dua *lightning rod* dengan penambahan dua *lightning rod* pada setiap sudut bangunan pada hotel Kimaya, maka diperoleh diameter area permukaan yang terproteksi adalah 132 meter. Sehingga diperoleh hasil luasan area terproteksi pada permukaan tanah seluas $\pi \times (132/2)^2 = 13.684 \text{ m}^2$ dengan batas aman maksimum ketinggian objek pada sisi lebar hotel adalah setinggi $h_{max} = 35$ meter dan ketinggian kritis minimum $h_{min} = 2$ meter dengan jarak 30 meter dari lebar hotel. Hal ini dapat dilihat pada Gambar 14.



Gambar 14. Luasan permukaan terproteksi dan batas ketinggian maksimum dan minimum pada kedua sisi lebar hotel

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisis dari kedua pola desain pemasangan *lightning rod* menggunakan metode bola gelinding yang diterapkan pada hotel Kimaya diperoleh beberapa kesimpulan. Desain pemasangan *lightning rod* dua *triangle tower* (dua *lightning rod*) menghasilkan luasan area yang terproteksi pada permukaan tanah pada hotel dengan kisaran luas area permukaan adalah 6.082 m² dan menghasilkan zona proteksi pada sisi lebar hotel adalah 7 meter dan semakin menurun sampai zona kritis 2 meter dengan jarak 11 meter. Dari desain pemasangan *lightning rod* empat *triangle tower* (empat *lightning rod*) menghasilkan luasan area yang terproteksi pada permukaan tanah pada hotel dengan kisaran luas area permukaan adalah 11.689 m² dan menghasilkan zona proteksi pada sisi lebar hotel adalah 19 meter dan semakin menurun sampai zona kritis 2 meter dengan jarak 20 meter. Dikarenakan dari kedua desain *lightning rod* tersebut belum melindungi secara keseluruhan bangunan hotel Kimaya, maka ditambahkan dua tanduk *lightning rod* pada sudut bangunan. Penambahan ini menghasilkan zona proteksi yang baik dan mampu melindungi bangunan hotel dengan kisaran luas area permukaan adalah 13.684 m² dan menghasilkan zona proteksi pada sisi lebar hotel sebesar 35 meter dan semakin menurun sampai zona kritis 2 meter pada jarak 30 meter.

REFERENSI

- [1] Dennis Messelinus Christian, "Evaluasi Proteksi Petir Eksternal Pada Pabrik PT Pupuk Sriwijaya" *Tugas Akhir*, Program Studi Institut Teknologi Sepuluh Nopember, 2017.
- [2] W, Diah Suwanti, "Watak Perlindungan Arestor Tegangan Rendah Terhadap Peralatan Listrik Rumah Tangga," *Tesis*, Teknik Elektro, Universitas Gajah Mada, 2011.
- [3] Alfath Kurnia Yeral, Syamsir Abduh, "Studi Pengembangan Desain Zona Proteksi Petir pada Gardu Induk 150 kV Menggunakan AutoCAD, *JETRI: Jurnal Ilmiah Teknik Elektro*, vol. 17, no. 1, 2019. <https://doi.org/10.25105/jetri.v17i1.4491>
- [4] Maradongan Maradongan, Fri Murdiya, "Desain Dan Analisa Sistem Proteksi Petir Pada Rumah Sakit Universitas Riau," *Jurnal Online Mahasiswa*, vol. 4, no. 1, 2017.
- [5] Rizka Adelia, Lela Nurpulaela, Ibrahim Ibrahim, "Rancang Bangun Sistem Proteksi Pada Lightning Protection Device Berbasis Internet of Things," vol. 8, no. 17, hal. 419-430, 2022. <https://doi.org/10.5281/zenodo.7077617>
- [6] Hamid Zamani, Maziyar Tajahmadi, Sadeh Jamali, "A Novel and Practical Mathematical Equation for Design and Analysis of Lightning Protection System (LPS) Based on Rolling Sphere Method, dalam 2022 International Conference on Protection and Automation of Power Systems (IPAPS), 2022. <http://dx.doi.org/10.1109/IPAPS55380.2022.9763132>
- [7] N Szedenic, "Rolling sphere – method or theory?," *Journal of Electrostatics*, vol. 51-52, hal. 345-350, 2001. [https://doi.org/10.1016/S0304-3886\(01\)00108-5](https://doi.org/10.1016/S0304-3886(01)00108-5)
- [8] Irrine Budi Sulistiawati, M Zaid Sahlan Shaufi, I Made Wartana, "Penggunaan Metode Rolling Sphere untuk Pengamanan Jaringan 150 kV dari Sambaran Petir Langsung," *Journal of Electrical Engineering and Technology*, vol. 4, no. 1, hal. 20-28, 2023. <https://doi.org/10.32492/jeetech.v4i1.4104>
- [9] Happy Aprillia, "Metode Bola Bergulir untuk Analisis Perancangan Sistem Proteksi Petir Gedung

- Perkuliahan Institut Teknologi Kalimantan,” *SPECTA Journal of Technology*, vol. 6, no. 2, hal. 179-189, 2022. <https://doi.org/10.35718/specta.v6i2.661>
- [10] Aditya Surya Medika, Puji Slamet, Puji Slamet, “Perencanaan Sistem Penyalur Petir Eksternal Pada Gedung SMK Sultan Agung 1 Tebuireng Jombang,” *JURTIE: Jurnal Teknik Informatika dan Elektro*, vol. 2, no. 5, hal. 87-96, 2023. <https://doi.org/10.55542/jurtie.v5i2.710>
- [11] N. Naibaho, Al. Sofiyah, “Analisis Sistem Proteksi Petir Eksternal Tipe Elektrostatik di PT. Pamapersada Nusantara Distrik CCOS Cileungsi-Bogor,” *Jurnal Ilmiah Elektrokrisna*, vol. 9, no. 3, hal. 112-125, 2021.
- [12] T. Affianto, S. Anwari, ROF. Pratama, “Simulasi Sistem Proteksi Petir Eksternal Dengan Metode Pembalik Muatan Menggunakan Matlab,” *Jurnal Rakayasa Hijau*, vol. 2, no. 1, hal. 72-29, 2018.
- [13] Budi Utama, “Mitigasi Kebencanaan Sambaran Petir pada Kawasan Destinasi Pariwisata Embung-Jokaton,” *Prosiding Seminar Nasional ReTII ke-17*, hal. 58-71, 2022.
- [14] Aderibigbe Israel Adekita, Michael Rock, “A further look at dynamic electro-geometrical model: Its fundamentals and implementation,” *Ain Shams Engineering Journal*, vol. 11, hal. 651-658, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.asej.2020.01.004>
- [15] Barry Brusso, “The Electrogeometrical Model of the Rolling Sphere Method [History],” *IEEE Industry Applications Magazine*, vol. 22, no. 2, hal. 7-70, 2016. <https://doi.org/10.1109/MIAS.2015.2503940>
- [16] R. Aditya Gani, Teguh Arfian, “Perencanaan Sistem Proteksi Eksternal Pada Gedung Wisma barito Pasific Menggunakan Metode Rolling Sphere,” *Prosiding Seminar nasional Energi, Telekomunikasi dan Otomasi SNETO*, 2021.