

Analisis Sistem Reduksi Sambaran Petir Konvensional Dan Elektrostatik Menggunakan Metode Bola Bergulir

As'ad Saifuddin^{1*}, Didik Notosudjono¹, Agustini Rodiah Machdi¹, Aris Suryadi¹

¹Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Pakuan
Jl. Pakuan, RT.02/RW.06, Tegallega, Kecamatan Bogor Tengah, Kota Bogor, Jawa Barat 16129
E-mail: aris.suryadi@unpak.ac.id

Naskah Masuk: 24 Februari 2025; Diterima: 24 Maret 2025; Terbit: 31 Maret 2025

ABSTRAK

Abstrak - Indonesia merupakan salah satu negara dengan hari guruh tertinggi di dunia yaitu 180 – 260 hari guruh/tahun. Dengan kerapatan sambaran petir mencapai 30 sambaran per tahun. Akibat dari sambaran petir langsung dapat menyebabkan kerusakan langsung pada bangunan yang dapat memakan korban jiwa. Pada bangunan tinggi sangat penting untuk pemasangan sistem reduksi petir sehingga resiko sambaran petir yang mengenai struktur bangunan kecil. Salah satu bangunan sistem reduksi petir yang sudah terpasang adalah Masjid Al-Kautsar Universitas Pakuan, masjid ini sendiri sudah terpasang sistem reduksi petir konvensional, penelitian ini bermaksud untuk menganalisis sistem reduksi petir yang sudah terpasang pada masjid dengan membandingkan sistem reduksi petir elektrostatik. Hasil analisis pbumih pada Masjid didapat hasil 0,04 Ω pada area masjid dan 2,16 Ω pada area lift masjid. Nilai indeks R pada standar PUIPP didapat nilai R=14 sedangkan untuk nilai indeks R pada standar NFPA 780 didapat nilai R=20. Area sudut perlindungan dan radius menggunakan konvensional dengan jumlah 6 buah splitzen yang dipasang pada 4 menara dan 2 kubah menunjukkan area radius yang tereduksi pada masjid sebesar 53,03 ° pada menara dan 53,51 ° pada kubah. Dengan menggunakan reduksi sambaran petir elektrostatik KURN 85 menunjukan hasil dimana area cakupan sudut reduksi didapat 48,50 °, untuk area radius setelah di hitung didapat 96,42 m pada sisi menara dan 95,45 m, pada sisi kubah panjang tiang penyangga yang dipasang pada kubah setinggi 2,45 m. Dari hasil analisis menunjukan jika pemasangan perangkat petir konvensional yang terpasang pada masjid, sudah cukup untuk memproteksi area masjid.

Kata kunci: Reduksi Petir, Konvensional, Elektrostatik, Masjid

ABSTRACT

Abstract - Indonesia is one of the countries with the highest thunder days in the world, namely 180 - 260 thunder days / year. With the density of lightning strikes reaching 30 strikes per year. The consequences of direct lightning strikes can cause direct damage to buildings that can take lives. In tall buildings it is very important to install this system so that the risk of lightning strikes hitting the building is small. One of the buildings applied to this analysis is the Pakuan University Al-Kautsar Mosque building. The Al-Kautsar Mosque itself has a conventional lightning reduction system installed, the purpose of this study is to compare the system that has been installed in the mosque with the electrostatic lightning reduction system installed. The results of the analysis of earthing at the Mosque obtained results of 0.04 Ω in the mosque area and 2.16 Ω in the mosque elevator area. The index value R in the PUIPP standard obtained the value R = 14 while for the index value R in the NFPA 780 standard obtained the value R = 20. The protection angle and radius area using conventional with a total of 6 splitzen installed on 4 towers and 2 domes shows a reduced radius area in the mosque of 53.03 ° on the tower and 53.51 ° on the dome. By using KURN 85 electrostatic lightning strike reduction, the results show that the coverage area of the reduction angle is obtained 48.50 °, for the radius area after the calculation is obtained 96.42 m on the tower side and 95.45 m, on the dome side the length of the support pole mounted on the dome is 2.45 m high. From the results of the analysis, it shows that the installation of conventional lightning devices installed in the mosque is sufficient to protect the mosque area.

Keywords: Lightning Reduction, Conventional, Electrostatic, Mosque

Copyright © 2025 Jurnal Teknik Elektro dan Komputasi (ELKOM)

1. PENDAHULUAN

Petir didefinisikan merupakan fenomena alam yang biasa muncul di saat musim hujan dan bisa berdampak pada kerusakan bangunan hingga menimbulkan korban jiwa. Selama musim hujan, sambaran petir bisa membahayakan yang bisa saja merusak perangkat elektronik atau dapat membahayakan orang yang menggunakannya. Dalam sistem kelistrikan sebuah bangunan, keselamatan manusia Indonesia memiliki

salah satu frekuensi sambaran petir tertinggi di dunia, dengan rata-rata 180 – 260 hari guruh per tahun dan kerapatan sambaran petir mencapai 30 sambaran per tahun Tanpa sistem proteksi yang baik, bangunan rentan mengalami kerusakan struktural, kegagalan sistem kelistrikan, hingga kebakaran akibat arus lebih yang disebabkan oleh sambaran petir [1].

Suatu sistem reduksi petir sangat diperlukan karena kerugian yang ditimbulkan sangat besar. Sistem ini harus memreduksi semua lapisan gedung, yang terdiri dari manusia dan peralatan di dalamnya sehingga bahaya ini dapat terhindar dan menghindari keusakan yang disebabkan petir tersebut. Cara yang sanga direkomendasikan untuk memreduksi bangunan yang sangat tinggi agar terhindar dari sambaran petir yaitu dengan memasang instalasi reduksi petir yang andal dan memenuhi standar yang sudah ditetapkan, sehingga alat ini dapat menyalurkan arus petir ke dalam tanah jika terjadi sambaran petir, Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk menganalisis efektivitas sistem reduksi petir konvensional dan elektrostatik pada bangunan Masjid Al-Kautsar Universitas Pakuan [2] [3].

2. KAJIAN PUSTAKA

2.1 Petir

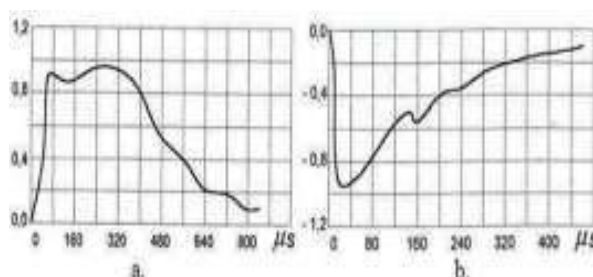
Pelepasan muatan listrik di atmosfer, yang juga dikenal sebagai petir, adalah fenomena alam. Peristiwa ini terjadi memicu gesekan awan membentuk ion listrik yang menghasilkan muatan positif dan negatif. Ionisasi ini juga dipengaruhi oleh terjadinya modifikasi air dari padat (es) ke bentuk cair. Ketika elektron dapat menembus ambang limit isolasi maka suara ledakan petir terjadi. Pada musim hujan petir sering muncul, karena karena kadar air di udara lebih tinggi selama musim hujan sehingga kekutaran isolasinya menurun dan arus dengan gampang mengalir [4] [5].

2.1.1 Proses Terjadinya Petir

Salah satu kejadian fenomena yang sering dilihat jika dilihat dari mata namun terjadi di atmosfer bumi ketika terjadi hujan badai adalah petir. Bawaan tersebut dikumpulkan pada awan atau beberapa dari awan, serta muatan yang bersebrangan akan muncul di tanah pada bagian bawahnya. Kondisi dimana bawaan bertambah, perbedaan potensial sekitar awan dan tanah naik, sehingga medan listrik di udara pun akan naik [6].

2.1.2 Bentuk Gelombang Arus Petir

Arus yang memiliki susunan gelombang yang menunjukkan arus yang besar, (kecuramann arus), dan waktu kejadian (waktu gelombang). Namun kenyataanya wujud gelombang ini tidak selalu persis. Wujud gelombang arus petir dapat sangat berbeda dari satu sambaran ke sambaran berikutnya dalam salah satu kejadian kilat dengan dua sambaran. kejadian Ini terutama terjadi saat petir negative, yang beberapa bagian besar akan mengikuti. Bentuk gelombang arus dapat dilihat pada gambar 1 berikut ini [7].



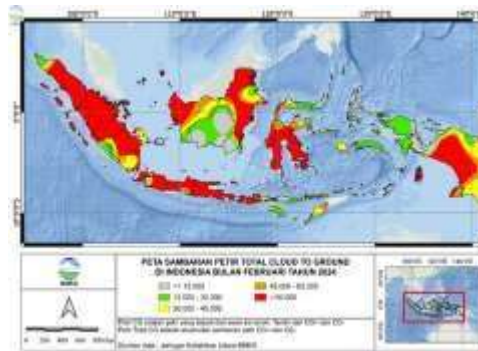
Gambar 1. Osilogram bentuk gelombang arus petir

2.1.3 Hari Guruh

Menurut pengertian yang dituliskan oleh Organisasi Meteorologi Dunia atau *World Meteorological Organization (WMO)*, Hari guruh adalah jumlah hari di mana guntur terdengar paling sedikit sekali dalam satu hari atau satu tahun dengan jarak kurang lebih 15 km dari stasiun pengamatan [8].

2.1.4 Peta Jumlah Sambaran Petir

Menurut data Badan Meteorologi, Klimatologi dan Geofisika (BMKG) pada bulan februari 2024 untuk wilayah JABODETABEK terjadi 15.000 – 45.000 kali sambaran petir seperti pada gambar 2.



Gambar 2. Peta jumlah sambaran petir

2.1.5 Jenis-Jenis Proteksi Petir

a. Proteksi Petir Konvensional

Proteksi petir yang paling mudah dan dipekenalkan untuk pertama kali digunakan disebut sebagai ground wires (kawat tanah) pada jaringan hantaran udara dan menggunakan konduktor untuk mengambil alih sambaran petir. Benjamin Franklin mendefinisikan pada bangunan dan pada struktur lain, dengan panggilan “*lightning rod*”. Reduksi petir konvensional yang bersifat pasif, menunggu petir untuk ketika disambar bergantung pada ketinggian posisi objek dan ujung yang runcing.

b. Proteksi Petir Non Konvensional

1) Proteksi Petir Radioaktif

Sistem Early Streamer Emission Protection, yang dilengkapi dengan sistem *Franklin Rod*, adalah metode relatif terbaru untuk menyelesaikan masalah kerusakan instalasi petir. ESE adalah terminal udara radioaktif non-tradisional. Namun, beberapa negara yang tidak memperbolehkan penggunaan terminal tersebut karena sumber radioaktif yang dipasang pada terminal bisa berdampak pada lingkungan dan kesehatan manusia.

2) Proteksi Petir Elektrostatis

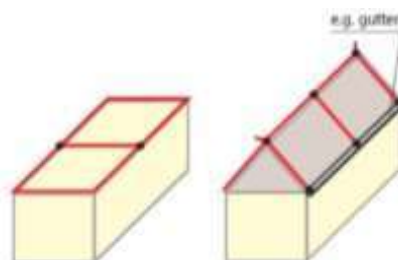
Proteksi ini, dikenal sebagai reduksi petir radius, bekerja dengan prinsip kerja elektroskop. Pada ujungnya, atau head terminal, adanya sebuah elektroda yang terpasan dikenal sebagai E.S.E (*Early Steamer Emission*), yang ion akan dilepaskan ke udara walaupun sambaran petir tidak ada [9] [10].

2.1.6 Terminasi Udara

Terminasi udara merupakan alat sitem reduksi petir yang berguna untuk menerima sambaran petir. Terminasi udara memiliki 3 metode yang bisa dipakai untuk menyesuaikan bangunan dan daerah yang direduksi.

a. Metode Jala (*Mesh Size Method*)

Menggunakan metode jala pada bangunan yang permukaan nya datar termasuk juga jala-jala dapat tereduksi secara menyeluruh. size dari kotak/konduktor di atas maksimum 10 m x 20 m dan dianjurkan untuk gedung yang strukturnya umum. Berikut pada gambar 3 dibawah ini menunjukan terminasi udara dengan metode jala [11].

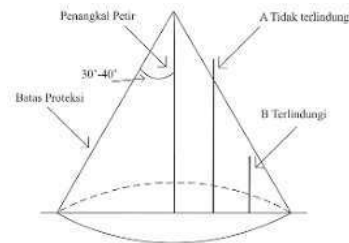


Gambar 3. Metode jala

b. Metode Sudut Proteksi

Metode ini dipasang sedemikian rupa pada setiap bagian dari struktur gedung bertingkat untuk melindungi bagian gedung tersebut bersarkan sisi dari kubah kerucut. Nilai sudut (α) tergantung

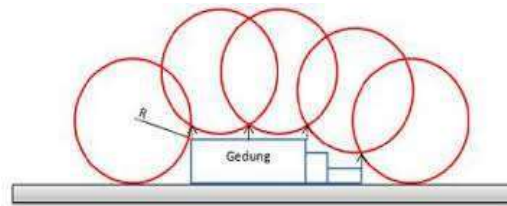
pada tinggi relatif puncak tiang (penangkal petir) hingga permukaan udara/alas kerucut (h), sebagai acuan gunakan derajat perlindungan level I – IV. Berikut pada gambar 4 menunjukan terminasi udara dengan metode sudut proteksi [12].



Gambar 4. Metode sudut proteksi

c. Metode Bola Bergulir

Metode ini digunakan pada struktur bangunan yang kompleks. Bangunan yang memakai metode ini akan diilustrasikan seperti ada bola radius R yang mengelinding sampai bola tersebut tersentuh tanah atau pembumian yang digunakan untuk penghantar. Berikut pada gambar 5 menunjukan terminasi udara dengan metode bola bergulir [13].



Gambar 5. Metode bola bergulir

Tabel 1. Tingkatan terminasi udara dengan metode bola bergulir

No	Tingkat Reduksi	Radius Bola Bergulir (M)
1	I	0,98
2	II	0,95
3	III	0,90
4	IV	0,80

Ada beberapa parameter dari bola bergulir yang akan dihitung didalam metode bola bergulir diantaranya:

1) Arus puncak petir

Besar nilai Radius Bola Bergulir (R) berhubungan dengan nilai arus puncak petir (I). Nilai arus puncak petir berdasarkan standar IEC 62305-1. Berikut persamaan 1 arus puncak petir [14].

$$R = 10 \times I^{0,65} \quad (1)$$

$$I = 0,65 \sqrt{\frac{R}{10}}$$

Keterangan :

R = radius (m)

I = Nilai Arus puncak petir (kA)

2) Jarak Sambaran Petir

Jarak sambaran petir (S) adalah jarak antara usaha terminal udara untuk menarik sambaran petir jika mengarah ke struktur bangunan. Nilai jarak sambaran petir dipengaruhi oleh nilai arus puncak petir (I) [14].

$$rs = 8 \times I^{0,65} \quad (2)$$

Keterangan :

rs = Jarak sambaran petir (m)

3) Sudut Perlindungan

Selanjutnya untuk menghitung sudut lindung untuk (α^0) untuk reduksi petir digunakan persamaan 3 [15].

$$(\alpha^0 = \sin^2 [1 - (\frac{h}{rs})]) \quad (3)$$

Keterangan :

h = tinggi ujung atas splitzen terhadap tanah (m)
rs = Jarak sambaran petir ke ujung splitzen (m)

4) Radius Perlindungan

Untuk menghitung radius daerah perlindungan (r) dapat menggunakan persamaan 4 [15].

$$r = \sqrt{2 \cdot rs \cdot h - h^2} \quad (4)$$

Keterangan :

r = Radius (Jari-jari) satuan meter
h = tinggi ujung atas splitzen terhadap tanah (m)
rs = Jarak sambaran petir ke ujung splitzen (m)

2.2 Sistem Pentanahan

Grounding atau lebih dikenal sistem pertanahan yaitu sistem yang penting pada bangunan yang fungsinya sebagai mengaliri arus sambaran petir dari batang tiang reduksi petir ke batang pembumian sehingga isi dalam bangunan dapat tereduksi [16].

2.2.1 Tahanan Jenis Tanah

Ada beberapa faktor yang bisa mempengaruhi dari tahanan jenis tanah yaitu:

1. Kadar air
2. Mineral/garam
3. Derajat keasaman
4. Tekstur tanah

Berdasarkan standar Persyaratan Umum Instalasi Listrik (PUIL) tahun 2000 Nilai tahanan jenis tanah (ρ) dapat ditentukan berdasarkan tabel 2 [16].

Tabel 2. Tahanan jenis tanah

No	Jenis Tanah	Efisiensi (%)
1	Tanah berbatu	3000 Ω
2	Pasir dan kerikil kering	1000 Ω
3	Kerikil basah	500 Ω
4	Pasir basah	200 Ω
5	Tanah liat dan tanah ladang	100 Ω
6	Tanah rawa	30 Ω

2.3 Besar kebutuhan bangunan akan sistem reduksi petir

Bangunan yang memungkinkan terkena sambaran petir yang berdampak pada kerusakan bangunan maka bangunan tersebut membutuhkan instalasi reduksi petir.

2.3.1 Standar Peraturan Umum Instalasi Penangkap Petir (PUIPP)

Standar PUIPP menyatakan seberapa banyak kebutuhan bangunan akan sistem reduksi petir ditentukan dengan menjumlahkan beberapa indeks yang menjadi kondisi bangunan pada lokasi tertentu. Berikut dibawah ini beberapa indeks dari PUIPP

- Indeks A : Bahaya berdasarkan jenis bangunan
Indeks B : Bahaya berdasarkan konstruksi bangunan
Indeks C : bahaya Berdasarkan Tinggi Bangunan
Indeks D : Bahaya berdasarkan Situasi Bangunan
Indeks E : Bahaya Berdasarkan Hari Guruh

Besarnya kebutuhan tersebut ditentukan berdasarkan penjumlahan indeks-indeks tertentu yang mewakili keadaan bangunan di suatu lokasi sehingga didapat perkiraan bahaya sambaran petir (R) dengan menggunakan persamaan 5.

$$R = A+B+C+D+E \quad (5)$$

Keterangan :

R = Perkiraan bahaya sambaran petir atas dasar PUIPP

A = Bahaya berdasarkan jenis bangunan

B = Bahaya berdasarkan konstruksi bangunan

C = Bahaya berdasarkan tinggi bangunan

D = Bahaya berdasarkan situasi bangunan

E = Bahaya berdasarkan hari guruh yang terjadi.

Jika nilai indeks $R > 13$ dapat dipastikan bangunan tersebut diperlukan sistem reduksi petir. Dijelaskan bahwa jika nilai R semakin besar, maka ancaman bahaya akibat terhadap sambaran petir juga semakin besar dan dari situ juga suatu bangunan perlu memasang instalasi reduksi petir [17].

2.3.2 Standar NFPA 780

Dengan menggunakan standar NFPA 780 dengan melakukan terdiri dari beberapa indeks yang dijumlahkan terhadap beberapa indeks yang mewakili kondisi lokasi bangunan. Berikut dibawah ini beberapa indeks dari NFPA 780.

Indeks A: Jenis struktur

Indeks B: Jenis konstruksi

Indeks C: Lokasi bangunan

Indeks D: Topografi

Indeks E: Penggunaan dan isi bangunan Indeks

F: Isokeraunic level

Setelah mendapatkan nilai indeks dilakukan klasifikasi atas hasil tersebut dengan indeks yang mewakili isokeraunic level diarea terkait dengan menggunakan Persamaan 6.

$$R = \frac{A+B+C+D+E}{F} \quad (6)$$

Jika hasil dari indeks lebih dari > 7 maka sangat diperlukan sistem proteksi pada bangunan tersebut. Berikut pada tabel 3 Menunjukan nilai bahaya sambaran petir berdasarkan standar NFPA 780.

Tabel 3. Perkiraan bahaya sambaran petir berdasarkan NFPA 780

No	R	Efisiensi (%)
1	0-2	Tidak perlu
2	2-3	Dianjurkan
3	3-4	Dianjurkan
4	4-7	Sangat dianjurkan
5	Lebih dari 7	Sangat perlu

2.3.3 Standar IEC 1024-1-1

Mengacu pada standar IEC 1024-1-1, tingkat reduksi yang dipilih harus sesuai untuk sistem reduksi petir berdasarkan frekuensi sambaran petir langsung lokal (Nd) yang diprediksi pada bangunan yang dilindungi dan frekuensi sambaran petir tahunan lokal yang diizinkan (Nc). Frekuensi tahunan rata-rata sambaran petir atau sambaran petir ketanah di area di mana suatu bangunan berada diberikan oleh Persamaan 7 [18] [19].

$$Ng = 0,04 \cdot IKL^{1,27} / km^2 / tahun \quad (7)$$

Dimana IKL adalah jumlah hari guruh per tahun yang diperoleh dari data isokeraunic level di daerah tempat struktur yang akan di proteksi yang dikeluarkan oleh Badan Meteorologi dan Geofisika (BMG). Sedangkan untuk menghitung frekuensi sambaran petir langsung menggunakan persamaan 8 [20].

$$Nd = Ng \cdot Ae \cdot 10^{-6} / tahun \quad (8)$$

Dimana Ae adalah area cakupan ekivalen dari bangunan (m) yaitu daerah permukaan tanah yang dianggap untuk menghitung area cakupan ekivalen dari bangunan area berbahaya dengan persamaan 9 [21].

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

Keterangan :

h : Tinggi area yang direduksi (m)

a : Panjang area yang direduksi (m)

b : Lebar bangunan (m)

Pengambilan keputusan perlu atau tidaknya memasang sistem proteksi petir pada bangunan berdasarkan perhitungan N_d dan N_c dilakukan sebagai berikut.

- Jika $N_d \leq N_c$ tidak perlu sistem proteksi
- Jika $N_d > N_c$ diperlukan sistem proteksi petir dengan efisiensi :

$$E = 1 - \frac{N_c}{N_d} \quad (10)$$

Maka setelah di hitung nilai E (Efisiensi Sistem Proteksi Petir), setelah itu dapat ditentukan tingkat proteksinya sesuai dengan tingkat tabel 4 berikut [21].

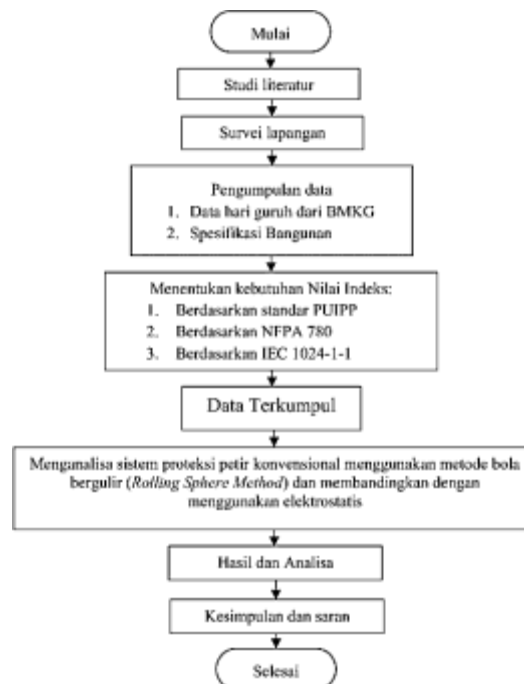
Tabel 4. Tingkat reduksi dan efisiensi

No	Tingkat Reduksi	Efisiensi (%)
1	I	0,98
2	II	0,95
3	III	0,90
4	IV	0,80

3. METODE PENELITIAN

3.1 Prosedur Penelitian

Pada penelitian kali ini ada langkah-langkah yang dimulai dari pengumpulan data, studi literatur dan pengolahan data. Ada beberapa tahapan yang bisa dilihat dari gambar 6 dibawah ini.



Gambar 6. Flowchart Alur Analisis dan Pengukuran Data

Gambar di atas menunjukkan hubungan antara komponen utama sistem proteksi petir, termasuk pengukuran resistansi tanah, evaluasi radius perlindungan, serta perbandingan metode konvensional dan elektrostatis. Tahapan ini dimulai dari pengumpulan data, analisis risiko sambaran petir berdasarkan standar PUIPP dan NFPA 780, hingga evaluasi efektivitas sistem proteksi yang telah diterapkan pada Masjid Al-Kautsar Universitas Pakuan. Berikut ini merupakan flowchart yang menggambarkan desain eksperimen secara keseluruhan, termasuk interaksi antara berbagai komponen sistem proteksi petir.



Gambar 7. Flowchart tahapan penelitian

Diagram ini menunjukkan tahapan dalam penelitian, mulai dari pengumpulan data hingga analisis efektivitas sistem proteksi petir yang digunakan.

3.2 Hari Guruh

Untuk melihat hari guruh/IKL (*Isokeraunik Level*) yang ada di wilayah Jawa Barat didapat pada tahun 2023 dan iklim cuaca khususnya untuk wilayah Bogor pada tabel 5 menunjukkan data yang berasal dari BMKG Jawa Barat dan BPS Kota Bogor.

Tabel 5. Data sumber BMKG Jawa Barat dan BPS Kota Bogor

No	Besaran Parameter	Nilai
1	Data IKL(Hari guruh rata-rata pertahun wilayah bogor	165
2	Tingkat kerawanan petir	45% (sedang)
3	Letak geografis (garis lintang) (derajat) (Li)	6°35'56.4"S
4	Letak geografis (garis bujur) (derajat)	106°48'42.2"E
5	Curah hujan rata-rata pertahun	3787,9
6	Tinggi bangunan di atas permukaan laut	261 m

3.3 Data Bangunan Masjid Al-Kautsar Universitas Pakuan

Berikut merupakan tabel data bangunan Masjid Al-Kautsar Universitas Pakuan ditunjukkan pada tabel 6.

Tabel 6. Data bangunan Masjid Al-Kautsar Universitas Pakuan

No	Karakteristik	Ukuran
1	Tinggi menara	15,5 m
2	Tinggi kubah	14,6 m
3	Panjang bangunan	34 m
4	Lebar bangunan	35,45 m
5	Tinggi total bangunan	31,3 m

3.4 Data Spesifikasi Sistem Reduksi Petir Masjid Al-Kautsar Universitas Pakuan Universitas Pakuan

Berikut di bawah ini merupakan spesifikasi perangkat reduksi petir yang terpasang pada Masjid Al-Kautsar.

- Spesifikasi Penangkal petir:
 - Panjang Splitzen = 100 cm
 - Diameter Splitzen = $\frac{3}{4}$
 - Jumlah Tombak Splitzen = 6 buah
- Spesifikasi konduktor penyalur ke bawah:
 - Bahan = Tembaga
 - Diameter Konduktor Penyalur = 50 Mm
 - Selubung Konduktor Penyalur = Pipa PVC

3. Spesifikasi sistem pembumian :
 Panjang Konduktor = 30 m
 Selubung Konduktor = Pipa Galvanis
 Diameter Selubung = $\frac{3}{4}$

3.5 Data hasil pengukuran pentanahan Masjid Al-Kautsar Universitas Pakuan

Pengukuran ini untuk dapat melihat hasil kelayakan grounding atau pembumian pada area Masjid Al-Kautsar Universitas Pakuan yang terbagi menjadi 2 yaitu pentanahan area lift masjid dan pentanahan area Masjid. Berikut dapat dilihat pada Gambar 8 dan 9 adalah hasil pengukuran pentanahan pada 2 area Masjid Al-Kautsar Universitas Pakuan.



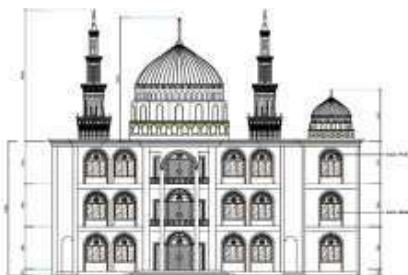
Gambar 8. Hasil pengukuran pentanahan area lift masjid



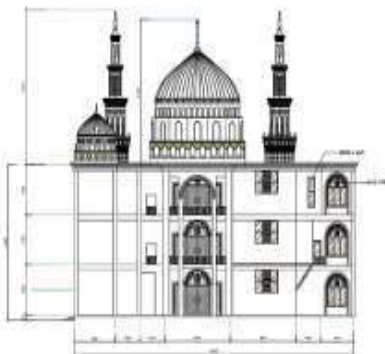
Gambar 9. Hasil pengukuran pentanahan area masjid

3.6 Denah Masjid Al-Kautsar Universitas Pakuan

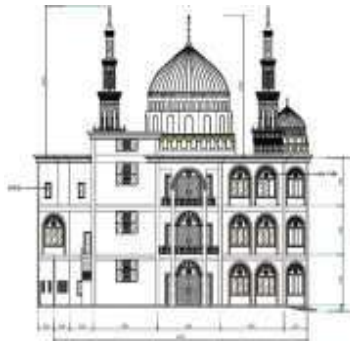
Denah Masjid Al-Kautsar Universitas Pakuan mencakup denah dari tampak depan, tampak samping kanan dan tampak samping kiri. Berikut dibawah ini menunjukkan denah masjid yang dapat dilihat pada gambar 10, 11, dan 12.



Gambar 10. Denah tampak depan Masjid Al-Kautsar Universitas Pakuan



Gambar 11. Denah tampak samping kanan Masjid Al-Kautsar Universitas Pakuan



Gambar 12. Denah tampak samping kiri Masjid Al-Kautsar Universitas Pakuan

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Evaluasi Analisis sistem reduksi sambaran petir konvensional

Evaluasi sistem ini dilakukan untuk memastikan bahwa desain, pemasangan, dan performanya memenuhi persyaratan standar keselamatan serta kebutuhan bangunan yang dilindungi.

4.1.1 Menentukan Nilai Indeks R Berdasarkan Standar PUIPP

Untuk mengetahui seberapa besar kebutuhan instalasi sistem reduksi petir pada bangunan bisa ditentukan dari jumlah indeks nilai R dari standar Peraturan Umum Instalasi Penyalur Petir (PUIPP). Dengan menggunakan persamaan 5, maka nilai indeks R berdasarkan standar PUIPP untuk Masjid Al-Kautsar ialah:

$$\begin{aligned} R &= A+B+C+D+E \\ R &= 3+2+3+0+6 \\ R &= 14 \end{aligned}$$

Berdasarkan kebutuhan sistem reduksi petir tersebut menghasilkan $R = 14$ yang menunjukkan jika Masjid Al-Kautsar Universitas Pakuan mempunyai perkiraan ancaman sambaran petir yang besar.

4.1.2 Menentukan Nilai Indeks R Berdasarkan Standar PUIPP

Berdasarkan kebutuhan sistem reduksi petir merujuk pada nilai indeks-indeks NFPA 780, maka nilai indeks R dapat didapatkan perkiraan bahaya akan sambaran petir seperti berikut.

$$\begin{aligned} R &= \frac{A + B + C + D + E}{F} \\ R &= \frac{9 + 3 + 1 + 1 + 6}{1} \\ R &= 20 \end{aligned}$$

Hasil di atas menunjukkan pada Masjid Al-Kautsar Universitas Pakuan mendapat nilai indeks $R = 20$. berdasarkan penjelasan standar NFPA 780 pada tabel 3 dengan nilai R lebih dari 7 maka bangunan tersebut harus memiliki sistem reduksi.

4.1.3 Menghitung Nilai Resistansi Sistem Pentanahan (Grounding)

Dengan melihat tabel 2 nilai tahanan jenis tanah pada area masjid dan lift masjid yaitu tanah liat dengan nilai resistansi 100Ω , dengan menggunakan persamaan Dwight maka hasil yang didapat yaitu:

$$\begin{aligned} R &= \frac{\rho}{2\pi L} \left(\ln \frac{4L}{a} - 1 \right) \\ R &= \frac{100}{2,3,14,30} \left(\ln \frac{4,30}{0,050} - 1 \right) \\ R &= 3,59 \Omega \end{aligned}$$

4.1.4 Menghitung Kerapatan Sambaran Petir Ke Tanah Rata-Rata Km²/Tahun

Kerapatan sambaran petir dapat dihitung dengan menggunakan persamaan persamaan 7 sebagai berikut:

$$\begin{aligned} Ng &= 0,04 \times IKL^{1,25} / \text{km}^2 / \text{tahun} \\ Ng &= 0,04 \times 165^{1,25} \\ Ng &= 23,654 \text{ km}^2 / \text{tahun} \end{aligned}$$

4.1.5 Menghitung Area Cakupan Ekivalen Pada Sisi Menara Masjid

Untuk menentukan area cakupan ekivalen pada sisi menara masjid dapat dihitung dengan menggunakan persamaan 8 sebagai berikut:

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

$$A_e = (34 \times 35,45) + 6 \times 15,5 (34 + 35,45) + 9 \times 3,14 \times (15,5)^2$$

$$A_e = (1.171,3) + 93(69,45) + 28,26(240,25) \quad A_e = 14.419,615 \text{ m}^2$$

4.1.6 Menghitung Frekuensi Sambaran Petir Langsung Pada Sisi Menara Masjid

Untuk menentukan frekuensi sambaran petir rata-rata tahunan pada sisi menara masjid dapat dihitung dengan menggunakan persamaan 9 sebagai berikut:

$$N_d = N_g \cdot A_e \cdot 10^{-6} / \text{tahun}$$

$$N_d = 23,654 \cdot 14.419,615 \cdot 10^{-6} / \text{tahun}$$

$$N_d = 0,341 / \text{tahun}$$

4.1.7 Menghitung Nilai Efisiensi Pada Sisi Menara Masjid

Setelah didapatkan hasil (N_d) lebih besar dari nilai (N_c) maka diperlukan suatu sistem reduksi dengan efisiensi berdasarkan persamaan 10 sebagai berikut:

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

$$E = 1 - \frac{0,1}{0,341}$$

$$E = 0,70$$

4.1.8 Menghitung Area Cakupan Ekivalen Pada Sisi Kubah Masjid

Untuk menentukan area cakupan ekivalen pada sisi kubah masjid dapat dihitung dengan menggunakan persamaan 8 sebagai berikut:

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

$$A_e = (34 \times 35,45) + 6 \times 14,6 (34 + 35,45) + 9 \times 3,14 \times (14,6)^2$$

$$A_e = (1.171,3) + 87,6(69,45) + 28,26(213,16) \quad A_e = 13.279,0216 \text{ m}^2$$

4.1.9 Menghitung Frekuensi Sambaran Petir Langsung Pada Sisi kubah Masjid

Untuk menentukan frekuensi sambaran petir rata-rata tahunan pada sisi kubah masjid bisa dihitung dengan memakai persamaan 9 sebagai berikut :

$$N_d = N_g \cdot A_e \cdot 10^{-6} / \text{tahun}$$

$$N_d = 23,654 \cdot 13.279,0216 \cdot 10^{-6}$$

$$N_d = 0,314 / \text{tahun}$$

4.1.10 Menghitung Nilai Efisiensi Pada Sisi Kubah Masjid

Setelah didapatkan hasil (N_d) lebih besar dari nilai N_c maka diperlukan suatu sistem reduksi dengan efisiensi berdasarkan persamaan 10 sebagai berikut:

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

$$E = 1 - \frac{0,1}{0,314}$$

$$E = 0,68$$

4.2 Evaluasi Sistem Reduksi Petir Konvensional Dengan Metode Bola Bergulir

Untuk memastikan area lindung dan radius pada penelitian ini digunakanlah metode bola bergulir (*rolling sphere method*) yang mana prinsipnya dengan menggulirkan bola dengan jari-jari tertentu hingga melewati bangunan/objek untuk diketahui sambaran titik dan area lindung sehingga terbentuk.

4.2.1 Menentukan Arus Puncak Petir Pada Menara Dan Kubah Masjid

Arus puncak petir (I) dapat diperhitungkan dengan memakai persamaan 1 dengan nilai satuannya adalah kA.

1. Perhitungan Arus Puncak Petir Menara Masjid

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

$$R = 10 \times 100^{0,65}$$

$$I = {}^{0,65} \sqrt{\frac{199,52}{10}}$$

$$I = {}^{0,65} \sqrt{19,952}$$

$$I = 100,45 \text{ kA}$$

2. Perhitungan Arus Puncak Petir Kubah Masjid

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

$$R = 10 \times 100^{0,65}$$

$$I = 0,65 \sqrt{\frac{199,52}{10}}$$

$$I = 0,65 \sqrt{19,952}$$

$$I = 100,45 \text{ kA}$$

Dari hasil perhitungan arus puncak petir pada sisi menara dan kubah masjid masing-masing mendapat hasil yang sama sebesar 100,45 kA.

4.2.2 Menentukan Jarak Sambaran Petir Pada Menara Dan Kubah Masjid

Untuk menentukan jarak sambaran petir (r_s) pada menara dan kubah Masjid Al-Kautsar Universitas Pakuan maka digunakanlah persamaan 2 dengan satuannya adalah meter (m).

1. Perhitungan Jarak Sambaran Petir Menara Masjid

$$r_s = 8 \times I^{0,65}$$

$$r_s = 8 \times 100,45^{0,65}$$

$$r_s = 160,08 \text{ m}$$

2. Perhitungan Jarak Sambaran Petir Kubah Masjid

$$r_s = 8 \times I^{0,65}$$

$$r_s = 8 \times 100,45^{0,65}$$

$$r_s = 160,08 \text{ m}$$

Dari hasil perhitungan jarak sambaran petir pada sisi menara dan kubah masjid masing-masing mendapat hasil yang sama yaitu 160,08 m.

4.2.3 Menentukan Sudut Perlindungan Pada Menara Dan Kubah Masjid

1. Perhitungan Sudut Perlindungan Menara Masjid

$$\alpha^0 = \sin^{-1} \left[1 - \left(\frac{h}{r_s} \right) \right]$$

$$\alpha^0 = \sin^{-1} \left[1 - \left(\frac{32,3}{160,08} \right) \right]$$

$$\sin^{-1} = 0,799$$

$$\alpha^0 = 53,03^0$$

2. Perhitungan Sudut Perlindungan Kubah Masjid

$$\alpha^0 = \sin^{-1} \left[1 - \left(\frac{h}{r_s} \right) \right]$$

$$\alpha^0 = \sin^{-1} \left[1 - \left(\frac{31,5}{160,08} \right) \right]$$

$$\sin^{-1} = 0,804$$

$$\alpha^0 = 53,51^0$$

Dari hasil perhitungan sudut lindung pada sisi menara dan kubah masjid diperoleh hasil sudut lindung sebesar 53,51⁰ pada sisi kubah dan 53,03⁰ pada sisi menara masjid.

4.2.4 Menentukan Radius Perlindungan Pada Menara Dan Kubah Masjid

1. Perhitungan Radius Perlindungan Menara Masjid

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

$$r = \sqrt{2 \cdot 160,08 \cdot 32,3 - 32,3^2}$$

$$r = \sqrt{9297,87}$$

$$r = 96,42 \text{ m}$$

2. Perhitungan Radius Perlindungan Kubah Masjid

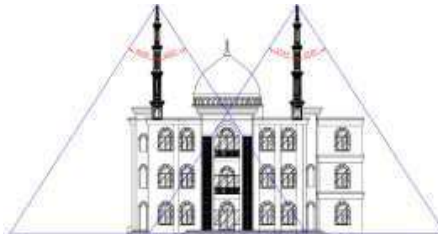
$$r = \sqrt{2 \cdot rs \cdot h - h^2}$$

$$r = \sqrt{2 \cdot 160,08 \cdot 32,3 - 32,3^2}$$

$$r = \sqrt{9128,864}$$

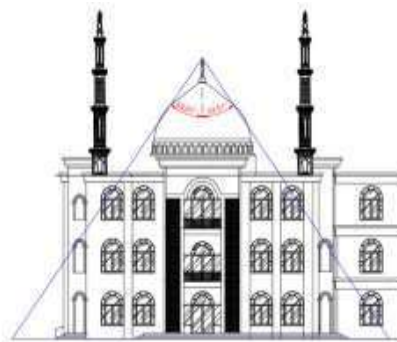
$$r = 95,54 \text{ m}$$

Dari hasil perhitungan radius daerah perlindungan pada sisi menara dan kubah masjid diperoleh hasil 96,42m pada sisi menara masjid dan 95,54 m pada sisi kubah masjid. Hasil dari perhitungan sudut perlindungan diilustrasikan pada gambar 13 dibawah ini:



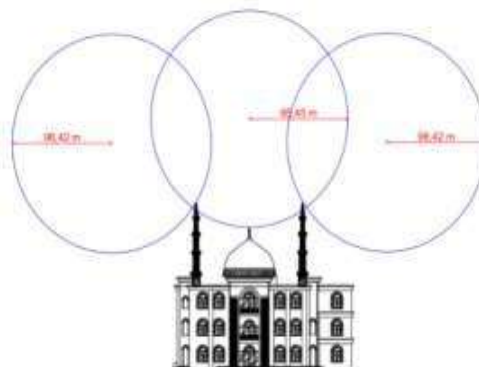
Gambar 13. Sudut perlindungan pada menara Masjid Al-Kautsar Universitas Pakuan

Berikutnya untuk hasil perhitungan untuk sudut perlindungan pada kubah masjid dapat diilustrasikan pada gambar 14 di bawah ini:



Gambar 14. Sudut perlindungan pada kubah Masjid Al-Kautsar Universitas Pakuan

Berikutnya untuk hasil perhitungan untuk radius perlindungan pada kubah dan menara masjid dapat diilustrasikan pada gambar 15 dibawah ini:



Gambar 15. Radius perlindungan pada kubah dan menara Masjid Al-Kautsar Universitas Pakuan

4.3 Menghitung dan Menganalisis Sistem Reduksi Sambaran Petir Menggunakan Elektrostatis

Pada umumnya sistem reduksi petir diklasifikasikan menjadi 2 jenis diantaranya adalah Elektrostatis Dan konvensional. Masing-masing jenis memiliki prinsip kerja yang berbeda. Penelitian ini untuk menghitung sudut reduksi dan radius reduksi petir dengan menggunakan elektrostatis yang dimana pada Masjid Al- Kautsar Universitas Pakuan sudah memiliki sistem reduksinya yang sudah terpasang sebelumnya dengan memakai jenis konvensional.

4.3.1 Radius Reduksi Petir Merk KURN

Alat reduksi petir merk KURN dirancang dengan teknologi *Early Streamer Emission (ESE)* yang memungkinkan perangkat memancarkan streamer awal (*pre-ionization*) lebih cepat daripada metode konvensional. Ada beberapa tipe kurn yang biasa dijumpai pada bangunan tinggi, Dari tipe kurn yang ada 2 diantaranya yaitu kurn 150 dan 85 yang banyak dijumpai pada bangunan tinggi berikut dibawah ini tabel 7 dan 8 menunjukan spesifikasi untuk tipe kurn 150 dan kurn 85.

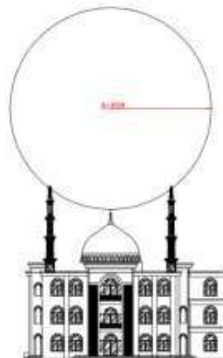
Tabel 7. Spesifikasi terminasi udara KURN 150

No	Spesifikasi	Baris 2
1	Berat	2,7 kg
2	Diameter	3 in
3	Panjang	55 cm
4	Radius proteksi	150 m

Tabel 8. Spesifikasi terminasi udara KURN 85

No	Spesifikasi	Baris 2
1	Berat	2,4 kg
2	Diameter	3 in
3	Panjang	45 cm
4	Radius proteksi	85 m

Dengan melihat panjang bangunan masjid 34 m dan lebar masjid 35,45 m untuk pemakaian alat proteksi petir yang cocok dan sesuai maka pada tabel diatas untuk tipe KURN 85 dirasa sudah cukup untuk memproteksi seluruh masjid, selain itu harga alatnya lebih terjangkau sehingga jika sewaktu-waktu terjadi kerusakan resiko kerugian tidak terlalu besar. Pada gambar 15 dibawah ini merupakan ilustrasi dari radius perlindungan dengan memakai KURN 85 pada Masjid Al-Kautsar Universitas Pakuan.



Gambar 16. Radius perlindungan Masjid Al-Kautsar Universitas Pakuan Dengan KURN 85

4.3.2 Menghitung Sudut Perlindungan Menggunakan KURN 85

Selanjutnya untuk perhitungan sudut perlindungan dari tipe KURN 150 menggunakan persamaan 4 sebagai berikut:

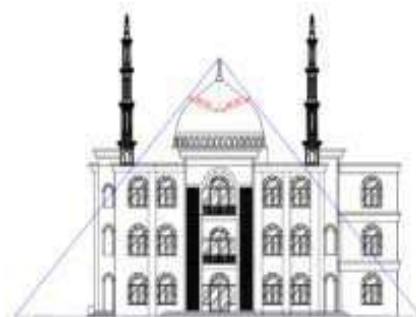
$$\alpha^0 = \sin^{-1} \left[1 - \left(\frac{h}{r_s} \right) \right]$$

$$\alpha^0 = \sin^{-1} \left[1 - \left(\frac{32,85}{160,08} \right) \right]$$

$$\sin^{-1} = 0,794$$

$$\alpha^0 = 48,50^0$$

Hasil dari perhitungan sudut perlindungan dapat diilustrasikan pada gambar 17 di bawah ini.



Gambar 17. Sudut perlindungan Masjid Al-Kautsar Universitas Pakuan dengan KURN 85

5. KESIMPULAN

Dari hasil perhitungan dan analisis yang sudah dilakukan diperoleh kesimpulan sebagai berikut:

- Nilai indeks R (Perkiraan bahaya sambaran petir atas dasar PUIPP) diperoleh nilai $R = 14$. Sedangkan nilai R (Perkiraan bahaya sambaran petir atas dasar NFPA 780) diperoleh nilai $R = 20$. Dengan hasil yang didapat dari nilai indeks R pada PUIPP dan NFPA menunjukkan bahwa Masjid Al-Kautsar Universitas Pakuan perlu dipasang sistem reduksi petir.
- Dengan nilai tahanan 100 dan batang elektroda yang ditanamkan kedalam tanah sedalam 30 m, nilai resistansi yang didapat adalah $3,59 \Omega$.
- Arus puncak pada sisi menara sebesar 100,45 kA dan sisi kubah 100,45 kA.
- Jarak sambaran petir untuk sisi menara sebesar 160,08 m dan sisi kubah 160,08 m.
- Sudut perlindungan yang didapat pada sisi menara sebesar $53,03^\circ$ dan sisi kubah sebesar $53,51^\circ$.
- Radius perlindungan yang didapat pada sisi menara sebesar 96,42 m dan sisi kubah 95,54 m.
- Alat reduksi petir elektrostatis yang digunakan untuk perbandingan penelitian ini memakai tipe KURN 85.
- Sudut perlindungan dengan memakai elektrostatis tipe KURN 85 didapat area perlindungan sebesar $14,11^\circ$.

REFERENSI

- [1] D. Ajiatmo, A. Y. Tangkara, A. Prabowo, "Studi Analisis Sistem Instalasi Penangkap Petir Pada Bangunan Bertingkat". *JURNAL INTAKE* Vol. 3, Nomor 1, 2012.
- [2] Rohani, N. Yuniarti, "Evaluasi Sistem Penangkal Petir Eksternal Di Gedung Rektorat Universitas Negeri Yogyakarta". *Jurnal Edukasi Elektro*, Vol. 1, No. 2, 2017.
- [3] Hardiansyah, S. W. Pratomo "Perancangan Sistem Penangkal Petir Eksternal Pada Airnav Indonesia Cabang Yogyakarta," *Jurusan Teknik Elektro, Universitas Islam Indonesia*. 2018.
- [4] Mitratul Qhuaris, Azriyenni Azhari Zakri, Fri Murdia, "Perancangan Instalasi Penangkal Petir Eksternal Untuk Gedung Bertingkat Tiga Sekolah Islam Inayah". *Jom FTEKNIK*. Volume 8 Edisi 2, 2021.
- [5] R. Duanaputri a., R. Jotoa, S. S. Wibowoa, F. N. Dwi Prasetyoa "Perencanaan Instalasi Penangkal Petir Pada Bangunan Industri Bengkel Pembuatan Mesin CV. Karya Brawijaya" *Jurnal Sistem Kelistrikan* Vol. 8 No.3, 2021.
- [6] Badan Standardisasi Nasional (BSN), SNI 03-7015-2004: Sistem Proteksi Petir pada Bangunan Gedung, BSN, Jakarta, 2004.
- [7] Y. K. Mite, "Evaluasi Penangkal Petir Menggunakan Sudut Proteksi Pada Gedung Rusunawa Universitas Borneo Tarakan" *Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Borneo Tarakan*, 2024.
- [8] I.D. Asnindar, "Perencanaan Sistem Proteksi Terhadap Petir Melalui Analisis Risiko Kemungkinan Terkena Sambaran Langsung Petir" (Studi Kasus: Gedung Smk Generasi Madani Cibinong). Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Ibn Khaldun Bogor. 2012.
- [9] N.P. Aji, "evaluasi sistem proteksi petir eksternal pada Gedung smp it raudhatul jannah kota cilegon". Fakultas Teknologi Industri Universitas Islam Sultan Agung: Semarang 2021.
- [10] Nurhabibah Naibaho, Allidlah Imam Sofiyan, "Analisis Sistem Proteksi Petir Eksternal Tipe Elektrostatis Di Pt. Pamapersada Nusantara Distrik Ccos Cileungsi – Bogor". *Jurnal Ilmiah Elektrokrisna* Vol 9 No 2.
- [11] N. D. Nur, "Pemodelan Perlindungan Gardu Induk dari Sambaran Petir Langsung di PT. PLN (Persero) Gardu Induk 150 kV Ngimbang-Lamongan". *Jurnal Teknik Pomits* Vol. 3, No. 1, 2014.
- [12] Z. Lubis, "Metode Terbaru Perancangan Proteksi Petir Eksternal Pada Pembangkit Listrik". *Journal of Electrical Technology*, Vol. 4, No.1, Februari 2019.
- [13] Z. Hakim, "Perencanaan Sistem Proteksi Petir masjid Raya Mujahidin Menggunakan Metode Bola Bergulir (Rolling Sphere Method)" *Journal of Electrical Engineering, Energy, and Information Technology (J3EIT)*, Vol 3, No 2, 2015.
- [14] E. Hosea, E. Iskanto, H. M. Luden "Penerapan Metode Jala, Sudut Proteksi dan Bola Bergulir Pada Sistem Proteksi Petir Eksternal yang Diaplikasikan pada Gedung W Universitas Kristen Petra" *Jurnal Teknik Elektro*, volume 4, nomor 2, September 2004.

-
- [15] Sukamdi, "Perencanaan Instalasi Penangkal Petir Pada Bangunan Industri Furniture". *ELPOSYS: Jurnal Sistem Kelistrikan* .Vol. 9 No.2, 2022.
- [16] A. Amaluddin, M. Rahman, Antarissubhi, U. Katu, "Analisis Kegagalan Sistem Grounding Pada Pondok Aysah Samata Kabupaten Gowa". *Jurnal teknik elektro unismuh*, Vol. 14 Nomor 1, Februari 2022. P- ISSN: 1979-9772, E-ISSN : 2714-7487.
- [17] M. Septian, "Desain Sistem Proteksi Petir Internal Pada Pembangkit Listrik Tenaga Surya Kuala Behe Kabupaten Landak". *Journal of Electrical Engineering, Energy, and Information Technology (J3EIT)* Faculty of Engineering, Universitas Tanjungpura. 2017.
- [18] N. N. Sriyanto, "Simulasi Penentuan Kebutuhan Bangunan Terhadap Sistem Proteksi Petir Eksternal Pada Gedung Ict Center". *Transient*, Vol. 7, No. 3, 2018..
- [19] A. Suryadi, "Perancangan Instalasi Penangkal Petir Eksternal Metoda Franklin Pada Politeknik Enjineri Indorama". *Sinergi* Vol. 21, No. 3, 2017.
- [20] A. Suryadi, B. Munthe, P.T. Asmoro, "Rancangan Instalasi Penangkal Petir Sebagai trainer Pemelajaran Sistem Proteksi". *Jurnal RAMATEKNO*, Vol. 1 No. 1, 2022.
- [21] A. Suryadi, Didik Sudjono, "Evaluation of Parameters in the Development of a Building Protection System". *International Journal of Electrical Engineering and Applied Sciences*, Vol. 3, No. 2, 2020.