

RANCANGAN PENYALUR PETIR TIPE ELEKTROSTATIS DI GEDUNG TERMINAL KEDATANGAN BANDAR UDARA ABDULRACHMAN SALEH MALANG

Muhammad Maftuh Rizky Affandy^{1*}, Ahmad Kosasih², Suse Lamtiar³

^{1,2,3}Politeknik Penerbangan Indonesia Curug; Jl. Raya PLP Curug, Serdang Wetan, Kec. Legok, Kabupaten Tangerang, Banten 15820; (021) 5982204

Keywords:

Bandara; Elektrostatis; Instalasi; Sistem Pembumian; Sistem Proteksi Petir.

Correspondent Email:

16042110013@ppicurug.ac.id

Abstrak. Gedung terminal kedatangan Bandara Abdulrachman Saleh Malang diklasifikasikan sebagai area berisiko tinggi terhadap sambaran petir, sebagaimana dibuktikan oleh insiden tahun 2019 yang merusak peralatan elektronik penting. Sistem proteksi petir konvensional terdekat dianggap tidak memadai untuk memberikan cakupan penuh terhadap bangunan. Penelitian ini bertujuan merancang sistem proteksi petir elektrostatis yang lebih efektif dengan jangkauan lebih luas. Penelitian menggunakan metode *Research and Development* (R&D) tingkat 1 yang meliputi pengumpulan data, analisis data, dan perancangan sistem. Data primer dikumpulkan melalui observasi lapangan dan wawancara teknis, sedangkan data sekunder diperoleh dari BMKG dan literatur teknis. Analisis mengacu pada IEC 62305-3 dan perhitungan tahanan pentanahan berdasarkan IEEE Std 142-2007. Sistem dirancang menggunakan AutoCAD dan divalidasi melalui simulasi 3D pada Google SketchUp Pro. Hasil menunjukkan bahwa sistem elektrostatis yang diusulkan dapat secara efektif mencakup area terminal. Rancangan ini melindungi seluruh atap terminal dan mengurangi risiko sambaran petir.



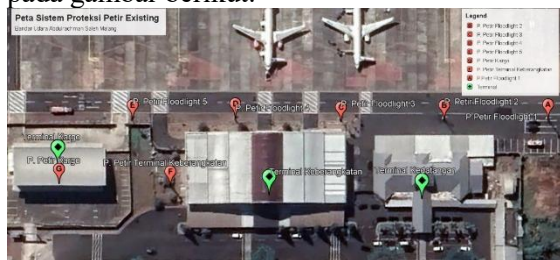
Copyright © [JITET](http://www.jitet.org) (Jurnal Informatika dan Teknik Elektro Terapan). This article is an open access article distributed under terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY NC)

Abstract. The arrival terminal building at Abdulrachman Saleh Airport in Malang is classified as a high-risk area for lightning strikes, as evidenced by a 2019 incident that damaged critical electronic equipment. The nearest conventional lightning protection systems were deemed inadequate to provide full coverage of the building. This study aims to design a more effective electrostatic lightning protection system with broader coverage. The research employed a Level-1 Research and Development (R&D) method comprising data collection, data analysis, and system design. Primary data were collected through field observations and technical interviews, while secondary data were obtained from BMKG and technical literature. Analysis followed IEC 62305-3 and grounding resistance calculations based on IEEE Std 142-2007. The system was designed using AutoCAD and validated through 3D simulations with Google SketchUp Pro. The results indicate that the proposed electrostatic system can effectively cover the terminal area. This design protects the entire terminal roof and reduces lightning risk.

1. PENDAHULUAN

Bandara Abdulrachman Saleh Malang terletak di Kabupaten Malang, Jawa Timur, sebuah wilayah dengan aktivitas petir tinggi. Data Badan Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika (BMKG) Malang mencatat jumlah hari guruh Malang tahun 2019 mencapai 243 hari, menempatkan kawasan ini dalam kategori risiko sambaran petir yang tinggi[1]. Sebagai infrastruktur kritis, keselamatan dan kelancaran operasional bandara sangat bergantung pada keandalan sistem proteksi petirnya.

Saat ini, area penerbangan sipil bandara telah dilengkapi dengan beberapa sistem proteksi petir eksternal, berupa penyalur petir konvensional tipe Franklin pada *floodlight* dengan ketinggian 16 meter, dan samping terminal keberangkatan dengan ketinggian 17,2 meter, serta sistem elektrostatis KURN R-85 pada terminal kargo dengan panjang 1 meter pada ketinggian gedung 11,8 meter. Letak proteksi petir eksternal tersebut bisa dilihat pada gambar berikut.



Gambar 1 Letak penyalur petir *existing*

Sistem proteksi petir konvensional bersifat pasif dan memiliki keterbatasan jangkauan proteksi yang signifikan. Keefektifannya sangat bergantung pada ketinggian pemasangan, menghasilkan sudut proteksi yang membentuk area perlindungan terbatas [2]. Kelemahan ini terbukti pada tahun 2019, ketika petir menyambar secara langsung ke jaringan telekomunikasi gedung terminal kedatangan. Insiden ini menyebabkan kerusakan parah pada berbagai peralatan elektronik vital, seperti komputer, monitor, dan sistem CCTV, yang mengganggu operasional. Daerah perlindungan dari penyalur petir konvensional dipengaruhi oleh ketinggiannya[3]. Analisis awal menggunakan metode sudut proteksi IEC 62305-3 menunjukkan bahwa penangkal petir terdekat (pada sebuah *floodlight* setinggi 16 m) hanya memiliki radius proteksi maksimum 9,8 – 24,9 meter[4], sementara jarak dari *floodlight* ke ujung atap terminal kedatangan mencapai 55

meter. Hal ini mengindikasikan adanya celah proteksi (*protection gap*) yang besar.

Penelitian sebelumnya telah banyak membahas perancangan sistem proteksi petir, baik konvensional [5] maupun elektrostatis [6], [7]. Namun, studi-studi tersebut umumnya berfokus pada perhitungan teoritis radius proteksi dan tahanan pentanahan, tanpa menghasilkan perencanaan teknis yang komprehensif dan siap implementasi. Terdapat kesenjangan (*gap*) antara analisis teoritis dan penerapan praktis yang terdetail, khususnya untuk lingkungan bandara yang kompleks dan membutuhkan keandalan tinggi. Penelitian ini bertujuan untuk mengisi kesenjangan tersebut dengan tidak hanya melakukan analisis teknis tetapi juga menghasilkan rancangan yang dapat diterapkan pada objek penelitian untuk mengurangi risiko sambaran petir.

Berdasarkan permasalahan tersebut, tujuan dari penelitian ini adalah untuk: (1) Menganalisis efektivitas dan jangkauan proteksi sistem penangkal petir *existing* di sekitar gedung terminal kedatangan Bandara Abdulrachman Saleh, dan (2) Membuat rancangan penyalur petir yang bisa mengurangi risiko sambaran petir pada gedung terminal kedatangan Bandara Abdulrachman Saleh Malang untuk memastikan seluruh area terminal kedatangan terlindungi secara optimal.

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Petir

Petir adalah fenomena alam yang biasanya terjadi pada musim hujan, ketika langit memunculkan kilatan cahaya terang sesaat diikuti oleh suara menggelegar yang disebut guruh. Perbedaan waktu antara kilatan cahaya dan suara guruh disebabkan oleh perbedaan kecepatan cahaya dan kecepatan suara. Petir dapat dianalogikan sebagai sebuah kapasitor raksasa. Lempeng pertama adalah awan (bermuatan negatif atau positif), dan lempeng kedua adalah bumi yang dianggap netral. Seperti diketahui, kapasitor adalah komponen pasif dalam rangkaian listrik yang dapat menyimpan energi sementara. Petir juga bisa terjadi antara dua awan (*intercloud lightning*). Salah satu awan bermuatan negatif dan awan lainnya bermuatan positif [8].

2.1.1. Proses Terjadinya Petir

Mekanisme terjadinya petir dijelaskan melalui dua pendekatan utama. Pertama, proses ionisasi, yaitu pergerakan elektron di udara yang memicu tumbukan antar ion sehingga menghasilkan aliran (*streamer*) bermuatan. Ketika tegangan tembus udara antara awan dan bumi tercapai, terbentuklah sambaran petir [9].

Kedua, gesekan antar partikel di dalam awan, seperti tetesan air, butiran es, dan debu, yang menyebabkan pemisahan muatan. Bagian atas awan umumnya bermuatan positif, sedangkan bagian bawahnya bermuatan negatif, sehingga menimbulkan perbedaan potensial hingga ratusan kilovolt. Perbedaan potensial inilah yang memicu terjadinya sambaran petir, baik antar awan maupun antara awan dan bumi [10], [11].

2.1.2. Bahaya Sambaran Petir

Sambaran petir dapat menimbulkan dampak langsung maupun tidak langsung pada berbagai aspek kehidupan. Pada bangunan dan manusia, sambaran langsung berpotensi menyebabkan kebakaran, kerusakan perangkat elektronik, serta ancaman keselamatan jiwa. Kasus sambaran petir pada manusia di ruang terbuka bahkan sering berakhir dengan luka permanen hingga kematian, sehingga proteksi petir menjadi kebutuhan mendasar pada fasilitas umum maupun permukiman [12].

Selain itu, jaringan listrik juga sangat rentan terhadap bahaya petir. Sambaran langsung ke saluran transmisi maupun transformator dapat menghasilkan arus mencapai puluhan kiloampere, yang menimbulkan lonjakan tegangan mendadak dan berpotensi merusak komponen penting seperti pemutus sirkit dan relai proteksi [13]. Bahkan tanpa sambaran langsung, petir yang terjadi di sekitar jaringan listrik dapat memicu *Lightning Induced Overvoltage* (LIOV) melalui induksi elektromagnetik, yang tetap mampu mengganggu kestabilan distribusi daya dan menurunkan keandalan sistem kelistrikan [14]. Dampak ini semakin signifikan di daerah tropis dengan intensitas petir tinggi, di mana gangguan dapat mengakibatkan pemadaman luas dan kerugian ekonomi [15].

Bahaya serupa juga terjadi pada jaringan telekomunikasi, di mana perangkat seperti antena, CCTV, dan komputer sangat sensitif terhadap lonjakan tegangan. Sambaran petir secara langsung dapat merusak kabel dan

perangkat elektronik yang terhubung, bahkan memicu kebakaran lokal, sedangkan sambaran tidak langsung menghasilkan induksi listrik yang dapat menyebar melalui kabel jaringan atau sistem pembumian yang tidak optimal, sehingga tetap berpotensi merusak peralatan telekomunikasi [16]. Dengan demikian, baik sambaran langsung maupun tidak langsung sama-sama berbahaya, dan perlindungan menyeluruh melalui sistem proteksi eksternal maupun internal mutlak diperlukan pada infrastruktur vital.

2.1.3. Hari Guruh

Hari guruh atau thunderstorm day didefinisikan oleh *World Meteorological Organization* (WMO) sebagai jumlah hari ketika guntur terdengar paling sedikit sekali dalam jarak sekitar 15 km dari stasiun pengamatan [17]. Indikator ini sering digunakan untuk mengukur frekuensi kejadian petir di suatu wilayah.

Tabel 1 Jumlah Hari Guruh Kabupaten Malang (2019–2024)

Tahun	Jumlah Hari Guruh
2019	243
2020	100
2021	102
2022	121
2023	53
2024	73
Rata-rata	115,33

Berdasarkan data BMKG, Kabupaten Malang mencatat 243 hari guruh pada 2019 dan meskipun jumlahnya menurun pada 2020–2024 dengan rata-rata tahunan 115,33 hari, wilayah ini tetap tergolong rawan petir. Fluktuasi iklim global dapat memicu kenaikan kembali jumlah hari guruh, sehingga kebutuhan akan sistem proteksi petir di infrastruktur vital tetap relevan hingga kini.

2.2. Terminasi Udara

Terminasi udara merupakan komponen utama dari sistem proteksi petir yang berfungsi menangkap sambaran petir pertama kali, sebelum dialirkan ke tanah melalui konduktor penyalur. Saat ini, terdapat tiga jenis terminasi udara yang umum digunakan.

2.2.1. Konvensional

Terminasi konvensional, sering disebut batang Franklin, adalah jenis paling sederhana yang berbentuk batang logam runcing dan dipasang pada bagian tertinggi bangunan. Sistem ini bekerja secara pasif, yaitu dengan menyediakan jalur konduktif langsung bagi sambaran petir untuk dialirkan ke tanah[12].

2.2.2. Radioaktif

Terminasi radioaktif menggunakan sumber radiasi (misalnya radium atau amerisium) untuk meningkatkan ionisasi udara di sekitar ujung terminal, dengan tujuan memicu streamer lebih awal dan meningkatkan kapasitas tangkapan. Namun, menurut penelitian dan panduan oleh *International Atomic Energy Agency* (IAEA), tidak ada bukti ilmiah kuat bahwa metode ini efektif, dan penggunaannya telah dihentikan di banyak negara karena risiko radiasi serta prinsip justifikasi keselamatan internal[18].

2.2.3. Elektrostatik

Terminasi elektrostatik atau *Early Streamer Emission* (ESE) merupakan pengembangan dari sistem konvensional yang diklaim mampu menghasilkan streamer lebih cepat, sehingga radius perlindungannya lebih luas. Beberapa studi menunjukkan bahwa sistem ESE dapat mengurangi jumlah terminal yang diperlukan, tetapi efektivitasnya masih menjadi perdebatan dalam penerapan praktis[19], [20].

2.3. Konduktor Penyalur

Konduktor penyalur berfungsi mengalirkan arus petir dari terminasi udara menuju sistem pembumian secara aman. Untuk meminimalkan risiko induksi dan side-flash, pemasangan konduktor dianjurkan melalui jalur paling pendek dan tegak lurus dari atas ke tanah[21].

Standar SNI 03-7015-2004 menetapkan ukuran minimum penampang, yaitu tembaga 16 mm², aluminium 25 mm², dan besi 50 mm²[22]. Dalam praktiknya, konduktor dapat didukung oleh elemen logam lain seperti pipa atau struktur bangunan untuk membantu distribusi arus lebih merata[23].

2.4. Sistem Pembumian

Sistem pembumian merupakan komponen penting untuk melepas arus petir ke tanah dengan resistansi sekecil mungkin. Menurut SNI 03-7015-2004, nilai tahanan pentanahan maksimum yang direkomendasikan adalah 5 Ω

agar pelepasan arus berlangsung aman dan efektif [1].

Elektroda pembumian dapat berupa batang, pita, atau kombinasi beberapa batang yang dihubungkan untuk menurunkan resistansi tanah. Lokasi penempatan sebaiknya berada pada tanah yang lembab dan konduktif sehingga kualitas pembumian lebih terjamin. Selain itu, penggunaan bahan aditif seperti bentonit juga dapat meningkatkan performa sistem pembumian [19].

Integrasi sistem pembumian dengan konduktor penyalur harus dirancang menyatu agar tidak menimbulkan beda potensial berbahaya di dalam struktur. Dengan perencanaan yang tepat, sistem proteksi petir eksternal dapat berfungsi optimal melindungi bangunan dari kerusakan akibat sambaran petir.

3. METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan metode *Research and Development* (R&D) yang difokuskan pada perancangan sistem proteksi petir eksternal tipe elektrostatik. Tahapan penelitian meliputi analisis risiko petir, perhitungan teknis sistem proteksi (kerapatan sambaran, luas daerah lindungan, radius proteksi, dan sistem pembumian), perancangan desain menggunakan perangkat lunak, serta simulasi cakupan proteksi untuk memastikan efektivitas desain.

3.1. Lokasi dan Waktu

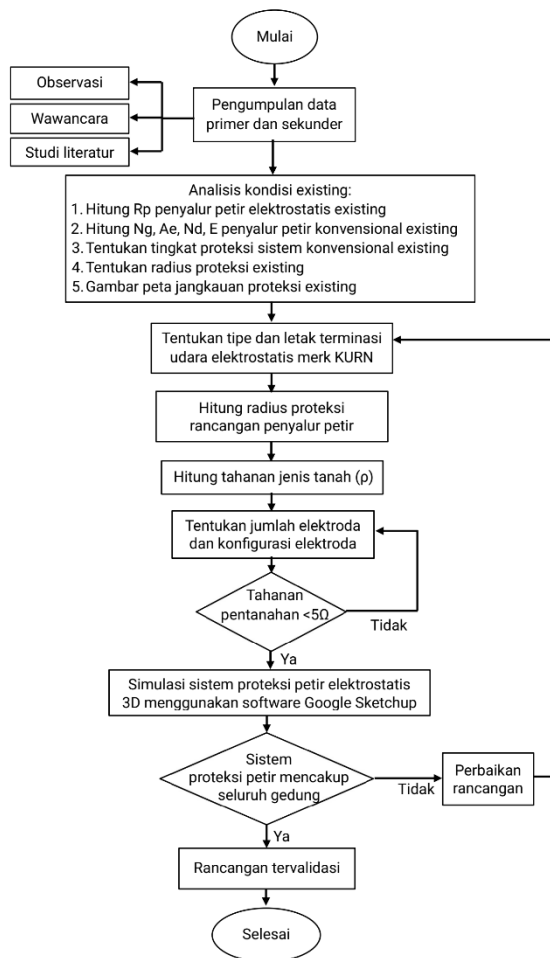
Penelitian dilakukan di Bandar Udara Abdulrachman Saleh Malang, khususnya pada terminal kedatangan, pada Januari - Juli 2025.



Gambar 2 Lokasi Penelitian

3.2. Tahapan Penelitian

Tahapan penelitian ini disusun secara sistematis untuk mencapai tujuan perancangan sistem proteksi petir eksternal tipe elektrostatik merk KURN. Alur tahapan penelitian secara umum ditunjukkan pada Gambar 3.



Gambar 3 Flowchart Metode Penelitian

Penelitian dimulai dengan pengumpulan data primer dan sekunder (observasi lapangan, wawancara, dan studi literatur) untuk memperoleh data hari guruh, dimensi/ketinggian struktur, spesifikasi sistem proteksi petir existing, serta hasil ukur pentanahan.

3.2.1. Analisis Kondisi Existing

Untuk penyalur petir elektrostatis yang sudah ada, zona proteksi ditaksir dari radius proteksi berdasarkan persamaan dari brosur KURN:

$$Rp = (h + h') \times \tan(\theta) \quad (1)$$

dengan h ketinggian terminasi, h' tinggi emisi ESE sesuai tipe KURN ($R-85 = 40\text{m}$ dan $R-150 = 75\text{m}$), dan θ sudut proteksi yaitu 60° [24].

Untuk penyalur petir konvensional, terlebih dahulu dihitung parameter IEC 61024-1-1[25]: kerapatan sambaran petir (Ng)

$$Ng = 0,04 \times Td^{1,25} \text{ km}^2/\text{tahun} \quad (2)$$

Td = jumlah hari guruh per tahun yang diperoleh dari data BMKG;
area cakupan ekivalen (Ae)

$$Ae = ab + 6h(a + b) + 9\pi h^2 \quad (3)$$

a = panjang atap gedung (m); b = lebar atap gedung (m); h = tinggi gedung (m);
dan frekuensi sambaran setempat (Nd)

$$Nd = Ng \times Ae \times 10^{-6} \text{ pertahun} \quad (4)$$

Setelah didapatkan nilai Ng , Ae , dan Nd , dapat ditentukan nilai frekuensi sambaran yang diperbolehkan pada gedung (Nc). Penentuan nilai Nc dilakukan berdasarkan IEC 62305-2 yang menetapkan nilai *tolerable risk* (RT) pada tabel berikut[26].

Tabel 2 Nilai Tipikal dari *Tolerable Risk* (RT)

	Tipe Kerugian	R_T
L1	Kerugian berupa kematian manusia atau cacat permanen	10^{-5}
L2	Kerugian berupa terganggunya layanan publik	10^{-3}
L3	Kerugian berupa terganggunya kebudayaan dan nilai sosial	10^{-4}

Lalu ditentukan efisiensi minimum untuk memilih tingkat proteksi (I–IV):

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

Tabel 3 Penentuan Tingkat Proteksi Berdasarkan Efisiensi[25]

Tingkat Proteksi	Efisiensi
I	0,98
II	0,95
III	0,90
IV	0,80

Tingkat proteksi yang diperoleh dipakai pada metode sudut proteksi (IEC 62305-3) untuk memeriksa jangkauan sistem proteksi petir konvensional existing. Dengan tinggi (h) 16 meter di tiap *floodlight* dan 17,2 meter di menara samping terminal keberangkatan, maka dapat dilakukan penentuan sudut dan radius proteksi berdasarkan tingkat proteksinya menggunakan acuan dari *A Guide to BS EN 62305 Protection Against Lightning*[4].

Tabel 4 Penentuan Sudut Proteksi Petir Berdasarkan Tingkat Proteksi Petir

Tingkat Proteksi	h = 16m		h = 17m	
	Sudut (°)	Radius (m)	Sudut (°)	Radius (m)
Tingkat Proteksi IV	57,3	24,9	56,2	25,4
Tingkat Proteksi III	52,8	21,1	51,5	21,4
Tingkat Proteksi II	43,8	15,3	42,3	15,4
Tingkat Proteksi I	31,4	9,8	29,2	9,5

Dari nilai radius proteksi dari setiap penyalur petir existing yang telah diketahui kemudian digambar dalam bentuk peta jangkauan proteksi seluruh penyalur petir existing.

3.2.2. Perancangan Sistem Proteksi Elektrostatik

Berdasarkan area yang belum terlindungi, dipilih tipe dan posisi terminasi udara KURN. Kecukupan jangkauan diverifikasi lagi dengan persamaan (1).

3.2.3. Perancangan Sistem Pembumian

Untuk merancang sistem pembumian perlu dilakukan pengukuran tahanan pentanahan menggunakan *Earth Tester* terlebih dahulu. Setelah diketahui rata-rata nilai tahanan pentanahan existing, tahanan jenis tanah perlu dihitung menggunakan persamaan tahanan pentanahan untuk satu batang elektroda yang telah digunakan saat pengukuran[27]:

$$R = \frac{\rho}{2\pi L} \times \left(\ln \left(\frac{4L}{a} \right) - 1 \right) \quad (6)$$

Kemudian dihitung ulang target rancangan memakai model elektroda batang paralel[27]:

$$R = \frac{\frac{\rho}{2\pi L} \times \left(\ln \left(\frac{4L}{a} \right) - 1 \right)}{n} \times F \quad (7)$$

dengan ρ resistivitas tanah, L panjang elektroda, a jari-jari elektroda, n jumlah elektroda batang, dan F faktor perkalian. Faktor perkalian mengacu pada *IEEE Std. 142-2007* yang ada pada tabel berikut ini[27].

Tabel 5 Faktor Perkalian Untuk Beberapa Elektroda Batang

Jumlah Elektroda Batang	F
2	1,16
3	1,29

Jumlah Elektroda Batang	F
4	1,36
8	1,68
12	1,80
16	1,92
20	2,00
24	2,16

Jumlah dan konfigurasi elektroda dihitung hingga terdapat beberapa opsi dari konfigurasi yang bernilai $R < 5 \Omega$. Dari opsi-opsi yang ada akan dipilih konfigurasi yang paling layak untuk rencana jangka panjang.

3.2.4. Simulasi dan Validasi

Dari perhitungan radius proteksi elektrostatik KURN yang baru akan disimulasikan menggunakan *software* Google SketchUp Pro untuk memeriksa apakah zona proteksi ESE menutup seluruh atap gedung yang perlu diproteksi. Jika belum, dilakukan perbaikan rancangan sampai tervalidasi.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Analisis Kondisi Existing

4.1.1. Radius Proteksi Penyalur Petir Elektrostatik Existing

Penyalur petir elektrostatik existing terletak pada gedung terminal kargo menggunakan merk KURN R-85. Untuk mengetahui zona proteksi penyalur petir existing jenis elektrostatik dapat menggunakan persamaan (1) sebagai berikut.

$$R_p = (1 + 40) \tan(60^\circ) = 71,1 \text{ meter}$$

4.1.2. Radius Proteksi Penyalur Petir Konvensional Existing

Jumlah hari guruh per tahun pada enam tahun terakhir di Kabupaten Malang adalah 115, 33 hari. Maka besarnya sambaran petir ketanah (N_g) dapat dihitung menggunakan persamaan (2):

$$N_g = 0,04 \times 115,33^{1,25} \text{ km}^2/\text{tahun}$$

$$N_g = 15,11 \text{ km}^2/\text{tahun}$$

Selanjutnya untuk area cakupan ekivalen (A_e) dari menara penyalur petir samping terminal keberangkatan dan floodlight 1-5 dapat dihitung menggunakan persamaan (3):

$$A_{e_{\text{menara}}} = (2)(2) + 6(17,2)(2 + 2) + 9(3,14)(17,2)^2 = 8781,5 \text{ m}^2$$

$$A_{e_{\text{floodlight}}} = (2)(1) + 6(16)(2 + 1) + 9(3,14)(16)^2 = 7528,2 \text{ m}^2$$

Jumlah rata-rata frekuensi sambaran petir (Nd) dari menara penyalur petir samping terminal keberangkatan dan floodlight 1-5 dapat dihitung menggunakan persamaan (4):

$$Nd_{menara} = (15,11)(8781,5)10^{-6} = 0,13 \text{ per tahun}$$

$$Nd_{floodlight} = (15,11)(7528)10^{-6} = 0,11 \text{ per tahun}$$

Selanjutnya nilai Nc mengacu pada Tabel 3 yaitu 10^{-3} . Jadi nilai E yang didapatkan dari persamaan (5) adalah sebagai berikut.

$$E_{menara} \geq 1 - \frac{0,001}{0,13} \rightarrow 0,992$$

$$E_{floodlight} \geq 1 - \frac{0,001}{0,13} \rightarrow 0,991$$

Hasil persentase dari nilai E menunjukkan bahwa menara di samping terminal keberangkatan dan floodlight berada pada tingkat proteksi I.

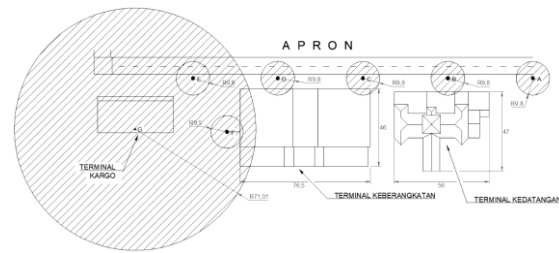
Setelah diketahui tingkat proteksi dapat ditentukan radius proteksi dan sudut proteksi dari penyalur petir konvensional menggunakan metode sudut proteksi IEC 62305-3 mengacu dari Tabel 4. Hasil penentuan sudut dan radius proteksi penyalur petir konvensional existing dapat dilihat pada tabel berikut.

Tabel 6 Penentuan Zona Proteksi Petir Konvensional

Posisi proteksi petir existing	Tipe Terminasi Udara	Tingkat Proteksi	Tinggi	Sudut Proteksi	Radius Proteksi
Menara Samping Keberangkatan	Konvensional	I	17,2 m	29,2°	9,5 m
Floodlight 1	Konvensional	I	16 m	31,4°	9,8 m
Floodlight 2	Konvensional	I	16 m	31,4°	9,8 m
Floodlight 3	Konvensional	I	16 m	31,4°	9,8 m
Floodlight 4	Konvensional	I	16 m	31,4°	9,8 m
Floodlight 5	Konvensional	I	16 m	31,4°	9,8 m

4.1.3. Peta Jangkauan Proteksi Petir Existing

Untuk memperjelas nilai radius proteksi penyalur petir existing dapat diterapkan pada gambar peta zona proteksi penyalur petir yang dapat dilihat pada gambar berikut.

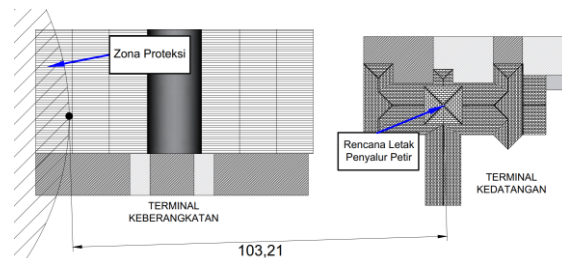


Gambar 4 Peta Zona Proteksi Petir Existing

4.2. Perancangan Sistem Proteksi Petir Elektrostatik

Berdasarkan peta zona proteksi petir pada Gambar 4, area yang memerlukan proteksi petir adalah seluruh gedung terminal kedatangan dan sebagian area gedung terminal keberangkatan. Maka dari itu, perlu dilakukan perhitungan radius proteksi yang dibutuhkan pada area yang belum terproteksi untuk menentukan tipe penyalur petir dari merk KURN.

Rencana letak penyalur petir yang akan dirancang adalah pada puncak atap dari gedung terminal kedatangan. Jika ditarik garis dari titik rencana letak penyalur petir ke titik ujung area proteksi terminal keberangkatan, maka dapat diketahui jarak pada gambar berikut.



Gambar 5 Jarak Rencana Letak Penyalur Petir dengan Titik Terluar Zona Proteksi Terminal Keberangkatan

Dapat dilihat bahwa jarak dari letak penyalur petir baru ke titik terluar zona proteksi petir terminal keberangkatan adalah 103,21 meter. Jarak tersebut merupakan jarak minimum radius proteksi yang diperlukan dari penyalur petir yang baru. Dengan jarak minimum pada area yang belum terproteksi pada Gambar 5, maka penyalur petir yang aman dan sesuai dengan jarak minimum tersebut adalah tipe KURN R-150. Karena tinggi gedung terminal kedatangan adalah 12 meter dan tinggi terminal keberangkatan adalah 15 meter, maka total kebutuhan panjang terminasi udara beserta tiang penyangganya adalah 3 meter. Nilai tersebut ditentukan agar terminasi udara dapat

memproteksi gedung terminal keberangkatan dengan baik.

Selanjutnya dapat dihitung radius proteksi dari penyalur petir elektrostatik yang baru. Perhitungan dilakukan menggunakan persamaan (1):

$$R_p = (3 + 75) \tan(60^\circ)$$

$$R_p = (78) \tan(60^\circ)$$

$$R_p = 135,09 \text{ meter}$$

Dari hasil tersebut, radius proteksi rancangan penyalur petir diprediksi dapat memproteksi seluruh area gedung terminal kedatangan karena sudah lebih dari jarak kebutuhan radius proteksi minimum yaitu 103,21 meter.

4.3. Perancangan Sistem Pembumian

Telah dilakukan pengukuran nilai tahanan tanah di lokasi penelitian menggunakan alat ukur Earth Tester merk Kyoritsu 4105A dan batang elektroda berdiameter 1,15 cm sepanjang 40 cm yang ditancapkan ke dalam tanah sedalam 30 cm. Pengukuran dilakukan pada tiga titik berbeda di sekitar gedung terminal kedatangan dengan lima kali pengukuran di setiap titik. Berikut adalah hasil pengukuran nilai tahanan tanah.

Tabel 7 Hasil Pengukuran Tahanan Pentanahan Existing

PENGUKURAN KE-	HASIL PENGUKURAN (Ω)		
	TITIK A	TITIK B	TITIK C
1	170	345	384
2	169	327	261
3	165	305	409
4	148	304	335
5	164	327	376
RATA-RATA	279,27		

Dari nilai rata-rata tersebut, dapat dihitung nilai ρ dihitung menggunakan persamaan (6).

$$279,27 = \frac{\rho}{2\pi(0,3)} \times \left(\ln \left(\frac{4(0,3)}{0,00575} \right) - 1 \right)$$

$$\rho = \frac{279,27 \times 2\pi \times 0,3}{\ln \left(\frac{4(0,3)}{0,00575} \right) - 1}$$

$$\rho = \frac{526,412}{4,34} = 121,268 \Omega m$$

Setelah diketahui nilai tahanan jenis tanah di area sekitar terminal kedatangan yaitu 121,268 Ωm , maka dapat dilakukan perhitungan konfigurasi elektroda pentanahan yang akan

dirancang. Instalasi pentanahan untuk sistem penyalur petir pada gedung terminal kedatangan dirancang dengan menggunakan elektroda berupa batang tembaga berdiameter 1½ inci. Elektroda ini dipasang tegak lurus dan ditanam dengan kedalaman tertentu, diposisikan sekitar 0,5 meter di bawah permukaan tanah. Konfigurasi pemasangan elektroda vertikal dibagi menjadi tiga jenis, yaitu tunggal, paralel (ganda), dan multi-paralel. Tabel berikut menampilkan hasil perhitungan nilai tahanan pentanahan yang diperoleh dari konfigurasi elektroda multi-paralel yang ditanam secara vertikal menggunakan persamaan (7).

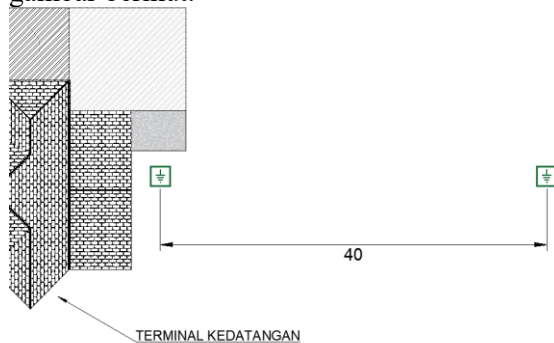
Tabel 8 Hasil Perhitungan Tahanan Pentanahan

Jumlah Elektroda (n)	Panjang Elektroda (L) (mtr)	Faktor Pengali (F)	Tahanan Pentanahan (R) (Ω)	Keterangan
1	5	1	23,00	Tidak sesuai standar
1	8	1	15,50	Tidak sesuai standar
1	10	1	12,84	Tidak sesuai standar
1	12	1	10,99	Tidak sesuai standar
1	15	1	9,08	Tidak sesuai standar
1	20	1	7,08	Tidak sesuai standar
2	5	1,16	13,34	Tidak sesuai standar
2	8	1,16	8,99	Tidak sesuai standar
2	10	1,16	7,45	Tidak sesuai standar
2	12	1,16	6,37	Tidak sesuai standar
2	15	1,16	5,27	Tidak sesuai standar
2	20	1,16	4,11	Sesuai standar
3	5	1,29	9,89	Tidak sesuai standar
3	8	1,29	6,66	Tidak sesuai standar
3	10	1,29	5,52	Tidak sesuai standar
3	12	1,29	4,72	Sesuai standar
3	15	1,29	3,90	Sesuai standar
3	20	1,29	3,05	Sesuai standar
4	5	1,36	7,82	Tidak sesuai standar
4	8	1,36	5,28	Tidak sesuai standar

Jumlah Elektroda (n)	Panjang Elektroda (L) (mtr)	Faktor Pengali (F)	Tahanan Pentanahan (R) (Ω)	Keterangan
4	10	1,36	4,36	Sesuai standar
4	12	1,36	3,74	Sesuai standar
4	15	1,36	3,09	Sesuai standar
4	20	1,36	2,41	Sesuai standar

Dari beberapa konfigurasi tersebut, dipilih konfigurasi elektroda batang berjumlah dua batang dengan kedalaman 20 meter. Konfigurasi tersebut dipilih dengan jumlah elektroda batang yang minim untuk rencana jangka panjang dalam mencegah terjadinya gangguan jika terdapat pembangunan tambahan gedung operasional bandara di masa mendatang. Selain itu, konfigurasi tersebut dengan tahanan pentanahan 4,11 Ω merupakan nilai yang telah memenuhi SNI 0225-5-510:2020, yakni $\leq 5 \Omega$ [28].

Berdasarkan *IEEE Std 142-2007: IEEE Green Book* menyatakan bahwa jarak antara dua batang grounding harus sama dengan kedalaman batang pertama ditambah kedalaman batang kedua. Dengan kata lain, jika kedua batang sama panjang, jaraknya adalah dua kali panjang batang [27]. Maka untuk dua batang elektroda kedalaman 20 meter akan berjarak 40 meter antar batangnya seperti gambar berikut.



Gambar 6 Titik Rencana Letak Elektroda Batang

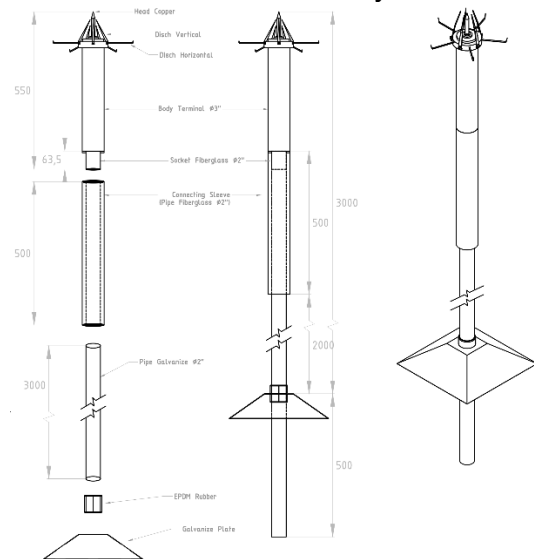
Kemudian untuk menyalurkan terminasi udara ke grounding menggunakan konduktor penyalur yaitu NYY 70 mm² yaitu dari terminasi udara ke bak kontrol pertama, kemudian yang ada di dalam galian tanah menggunakan BC 50 mm² yaitu kabel tembaga tidak terbungkus. Penentuan konduktor tersebut

berdasarkan rekomendasi dari merk KURN dan dari standar IEC 62305-3 [24], [29].

4.4. Desain dan Instalasi Sistem Penyalur Petir

Desain sistem penyalur petir bertujuan menyediakan jalur arus petir yang aman dari titik tertinggi atap menuju sistem pembumian, sehingga mampu melindungi struktur dan peralatan dari kerusakan. Sistem ini terdiri dari tiga elemen utama: terminasi udara (penyalur elektrostatik), konduktor penyalur (*down conductor*), dan sistem pembumian berupa batang elektroda *copper-bonded* serta bak kontrol *grounding*.

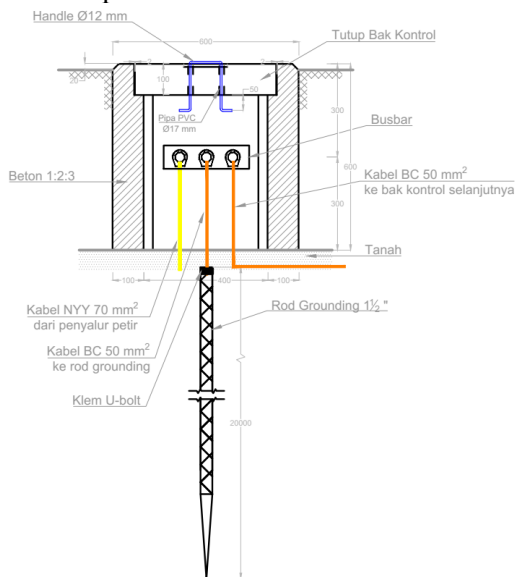
Terminasi udara dipasang pada titik tertinggi atap menggunakan kepala penyalur tipe KURN R-150. Dudukan terminasi berupa plat galvanis berukuran 40 × 40 cm dengan lubang tengah untuk pipa galvanis Ø2". Sekeliling lubang diberi karet EPDM untuk mencegah kebocoran dan meredam getaran, lalu disegel menggunakan *sealant* silikon netral yang tahan radiasi UV. Berikut adalah detailnya.



Gambar 7 Desain Terminasi Udara KURN R-150 dengan Pipa Penyangga dan Dudukan

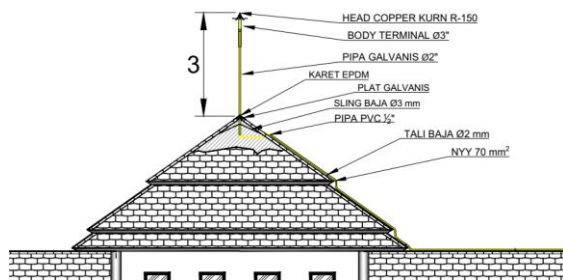
Kemudian untuk sistem pembumian (*grounding*) terdiri dari batang elektroda *copper-bonded* berdiameter 1½" dan panjang 20 m, dipasang vertikal dengan jarak antar batang sekitar 40 m. Elektroda dihubungkan ke bak kontrol menggunakan kabel BC 50 mm² dengan klem U-bolt. Jalur kabel ditempatkan pada galian sedalam 80 cm dengan dasar diberi lapisan pasir 10 cm. Kabel NYY dan BC

diletakkan sejajar tetapi tidak bersentuhan, ditutup kembali dengan pasir 10 cm sebelum ditimbun tanah. Bak kontrol dibuat dari beton bertulang berukuran $60 \times 60 \times 60$ cm (mutu beton minimal K-225) dengan penutup beton dan busbar tembaga sebagai terminal sambungan. Konfigurasi ini bertujuan memastikan kontinuitas konduktif yang rendah serta akses pemeriksaan terhadap sambungan grounding. Detail dari bak kontrol *grounding* bisa dilihat pada Gambar 8.

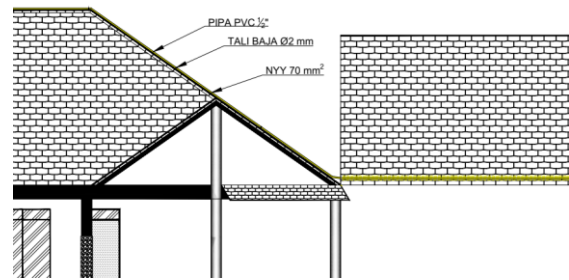


Gambar 8 Desain Bak Kontrol Sistem Pembumian

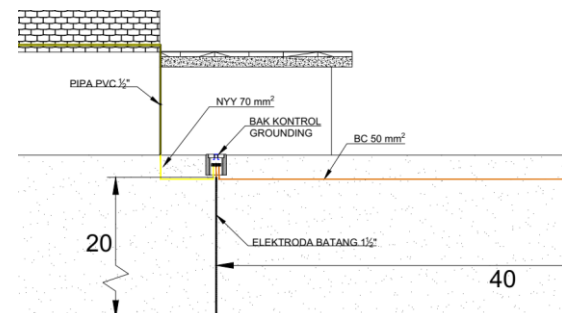
Pemasangan dilakukan berurutan: pemasangan dudukan dan terminasi, pemasangan dan routing konduktor melalui pelindung pipa hingga ke bak kontrol, serta penggalian dan penanaman elektroda sesuai kedalaman dan jarak yang direncanakan. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada gambar berikut.



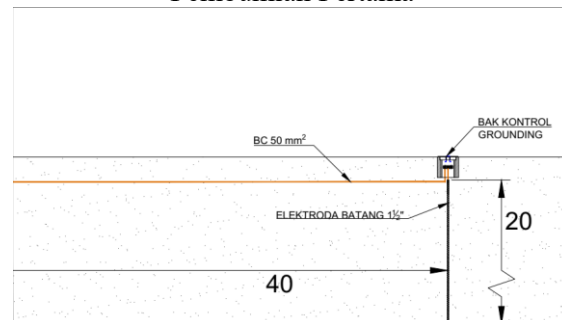
Gambar 9 Detail Instalasi Terminasi Udara



Gambar 10 Detail Jalur Kabel NYY pada Atap



Gambar 11 Detail Instalasi Sistem Pembumian Pertama



Gambar 12 Detail Instalasi Sistem Pembumian Kedua

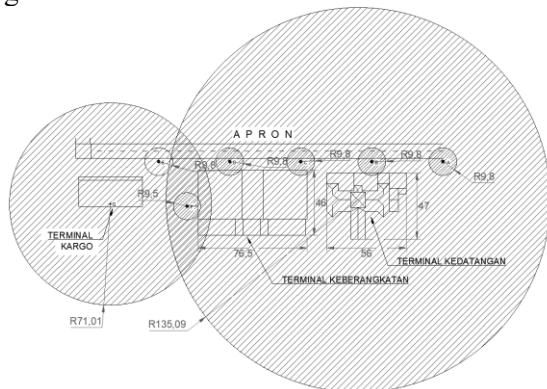
Setelah pemasangan dilakukan pemeriksaan visual dan pengukuran sambungan untuk memastikan integritas mekanik dan kontinuitas listrik. Semua pekerjaan mengikuti praktik keselamatan kerja listrik dan pedoman teknis yang relevan.

Rekomendasi pemeliharaan meliputi inspeksi visual minimal sekali per tahun (atau dua kali per tahun untuk area berisiko tinggi), pemeriksaan menyeluruh setiap 3–5 tahun, dan pemeriksaan segera setelah kejadian sambaran petir langsung. Pemeriksaan harus mencakup kekencangan sambungan, kondisi skun dan baut terhadap korosi, integritas *sealant* dan pelindung mekanis pipa, serta pengukuran resistansi tanah bila diperlukan. Pedoman perawatan mengacu pada SNI 03-7015-2004,

IEC 62305-3, NFPA 780, dan panduan produsen KURN[1], [24], [29], [30].

4.5. Pengujian Perancangan

Berdasarkan penentuan letak dan tipe penyalur petir, hasil perhitungan radius proteksi penyalur petir adalah 135,09 meter dengan sudut proteksi 60° . Jika radius proteksi tersebut ditambahkan pada peta zona proteksi petir existing, maka akan tampak seperti pada gambar berikut.

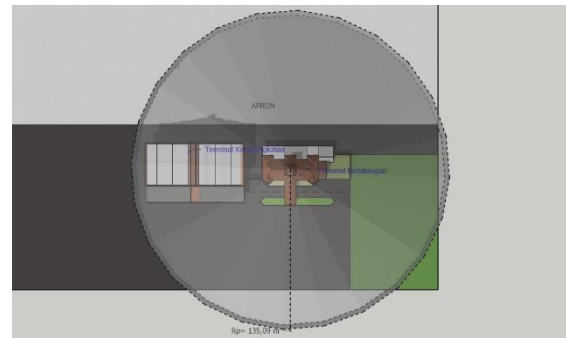


Gambar 13 Peta Zona Proteksi Petir Baru

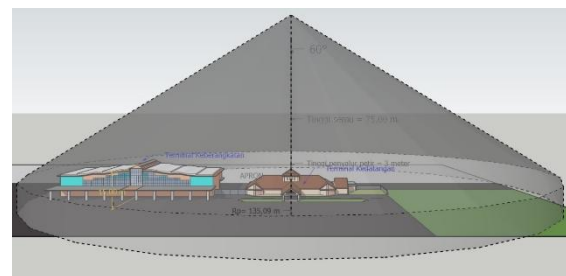
Dari perhitungan radius proteksi dan peta zona proteksi di atas, dapat disimulasikan berupa gambar 3 dimensi. Gambar di bawah ini menunjukkan radius proteksi penyalur petir baru menggunakan software Google Sketchup Pro.



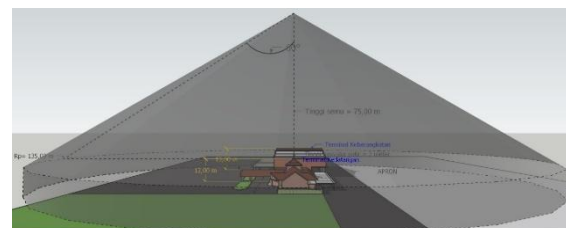
Gambar 14 Pengujian gambar 3D radius proteksi rancangan penyalur petir



Gambar 15 Pengujian gambar 3D radius proteksi rancangan penyalur petir tampak atas



Gambar 16 Pengujian gambar 3D radius proteksi rancangan penyalur petir tampak depan



Gambar 17 Pengujian gambar 3D radius proteksi rancangan penyalur petir tampak samping

Simulasi tiga dimensi dengan Google SketchUp Pro menunjukkan bahwa radius proteksi rancangan penyalur petir elektrostatis menutupi seluruh area terminal kedatangan serta sebagian terminal keberangkatan. Visualisasi berupa kerucut proteksi memperlihatkan tidak adanya area rawan sambaran petir di kedua terminal setelah sistem dipasang. Dengan terpenuhinya jangkauan proteksi pada seluruh area gedung terminal kedatangan, maka rancangan telah tervalidasi.

5. KESIMPULAN

- Analisis zona proteksi menunjukkan bahwa sistem proteksi petir yang ada saat ini di area terminal kedatangan dan sebagian terminal keberangkatan belum mencakup seluruh bangunan.

- b. Rancangan penyalur petir elektrostatik tipe KURN R-150 dengan tinggi total 3 m, 2 batang elektroda pbumian kedalam 20 m dengan tahanan tanah 4,11 Ω , dan kabel NYY/BC sesuai spesifikasi terbukti (melalui simulasi 3D) mampu melindungi seluruh atap terminal hanya dari satu titik strategis.
- c. Rancangan yang masih berbasis simulasi tiga dimensi menggunakan perangkat lunak memungkinkan adanya parameter yang belum lengkap, sehingga perlu dilakukan uji coba dengan perangkat lunak lain atau dikaji ulang guna menyempurnakan hasil.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada pihak-pihak terkait yang telah memberi dukungan terhadap penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Badan Standardisasi Nasional (BSN), *Sistem proteksi petir pada bangunan gedung*, SNI 03-7015-2004, Jakarta., 2004. [Daring]. Tersedia pada: <https://henrikusgalih.wordpress.com/wp-content/uploads/2012/10/sni-03-7015-2004-proteksi-petir.pdf>
- [2] A. S. Sampeallo, E. R. Mauboy, dan Y. M. Moron, "Perencanaan Sistem Penyalur Petir Elektrostatik Dengan Metode Sangkar Faraday Pada Gedung Keuangan Negara Kupang," *J. Media Elektro*, hlm. 90–100, Okt 2020, doi: 10.35508/jme.v0i0.3207.
- [3] F. A. Nasution, R. Putri, dan K. Ikhsan, "Kajian Awal Penangkal Petir Pada Gedung Bertingkat di Wilayah Bukit Indah Lhokseumawe," *RELE Rekayasa Elektr. Dan Energi J. Tek. Elektro*, vol. 6, no. 2, Jan 2024, doi: <https://doi.org/10.30596/rele.v6i2.18347>.
- [4] Furse, *A Guide to BS EN 62305 Protection Against Lightning*, 3rd edition. Thomas & Betts, 2013. Diakses: 7 Februari 2025. [Daring]. Tersedia pada: https://www.lightning.gg/wp-content/uploads/2021/09/z.Furse-Guide_3rd-Edition.pdf
- [5] M. M. Arief Wahyudji, N. Purwasih, D. Permata, dan H. H. Sinaga, "Desain Sistem Proteksi Eksternal Gedung Terhadap Surja Petir di Museum Negeri Lampung," *Transm. J. Ilm. Tek. Elektro*, vol. 26, no. 2, hlm. 95–104, Mei 2024, doi: 10.14710/transmisi.26.2.95-104.
- [6] M. L. Simanullang, F. J. Likadja, dan A. S. Sampeallo, "Perencanaan Instalasi Penyalur Petir KURN R-150 Pada Gedung Auditorium Universitas Nusa Cendana Kupang," *J. Media Elektro*, hlm. 49–56, Okt 2023, doi: 10.35508/jme.v12i2.10198.
- [7] R. Duanaputri, R. Joto, S. S. Wibowo, dan F. N. D. Prasetyo, "Perencanaan Instalasi Penangkal Petir Pada Bangunan Industri Bengkel Pembuatan Mesin CV. Karya Brawijaya," vol. 8, no. 3, hlm. 92–97, 2021, doi: 2407-2338.
- [8] I. G. S. Widharma, I. N. Sunaya, I. G. P. Arka, dan I. G. N. Sangka, "Sistem Proteksi Terhadap Gangguan Petir Pada Stasiun Pemancar TV," *J. Matrix*, vol. 9, no. 3, Nov 2019, doi: <https://dx.doi.org/10.31940/matrix.v9i3.1436>.
- [9] H. Prasetyo, "Literasi Dasar Sistem Proteksi Petir untuk Masyarakat Desa Karangreja Purbalingga," *RENATA J. Pengabd. Masy. Kita Semua*, vol. 1, no. 1, Art. no. 1, Apr 2023, doi: 10.61124/1.renata.1.
- [10] K. Karsun, O. A. Rozak, dan M. Z. R. Nurhadi, "Penggunaan Elektrostatik Sebagai Proteksi Petir Plts On-Grid Pada Gedung B Universitas Pamulang," *J. Inform. Dan Tek. Elektro Terap. JITET*, vol. 11, no. 3 S1, Art. no. 3s1, Sep 2023, doi: 10.23960/jitet.v11i3s1.3497.
- [11] J. Gilmore, "Electrical Pre-Conditioning of Convective Clouds," University of Reading, 2019. [Daring]. Tersedia pada: https://centaur.reading.ac.uk/88436/1/238634_80_Gilmore_thesis.pdf
- [12] I. B. K. Sugirianta, I. G. N. A. D. Saputra, I. N. Mudiana, dan I. K. Ta, "Study of the Effectiveness of Lightning Protection System on 1 MWp Bangli Solar Power Plant," *SCITEPRESS J.*, hlm. 650–656, 2023.
- [13] V. Rakov, "Lightning, the Science," *Lect. Notes Electr. Eng.*, 2021, doi: 10.1007/978-981-16-3440-6_1.
- [14] W. D. van Schalkwyk, C. Gomes, dan J. V. Coller, "A New Method to Distinguish between Nearby and Direct Lightning Strikes for Long Operational Medium Voltage Lines," *SAIEE Afr. Res. J.*, 2022, doi: 10.23919/saiee.2022.9853020.
- [15] A. Gujar, S. M. Hossain, dan D. R. Kunwar, "Investigation of the Impact of Lightning Strikes on Renewable Farms," *2024 IEEE Third Int. Conf. Power Electron. Intell. Control Energy Syst. ICPEICES*, hlm. 814–818, 2024, doi: 10.1109/ICPEICES62430.2024.10719068.
- [16] R. Azly, "6 Tips Agar Peralatan Elektronik di rumah tidak kena Petir," *Voltechno*. [Daring].

- Tersedia pada:
https://www.voltechno.net/2020/08/6-tips-agar-peralatan-elektronik-di_12.html
- [17] A. Saifuddin, D. Notosudjono, A. R. Machdi, dan A. Suryadi, "Analisis Sistem Reduksi Sambaran Petir Konvensional Dan Elektrostatis Menggunakan Metode Bola Bergulir," *J. Tek. Elektro Dan Komputasi ELKOM*, vol. 7, no. 1, hlm. 109–124, Mar 2025, doi: 10.32528/elkom.v7i1.23935.
- [18] International Atomic Energy Agency, "Management of Disused Radioactive Lightning Conductors and Their Associated Radioactive Sources," International Atomic Energy Agency, Text, 2022. Diakses: 20 Agustus 2025. [Daring]. Tersedia pada: <https://www.iaea.org/publications/14921/management-of-disused-radioactive-lightning-conductors-and-their-associated-radioactive-sources>
- [19] R. Saragih, Y. Yusniati, R. Nasution, dan A. Armansyah, "Studi Peralatan Proteksi Sambaran Petir Lightning Arrester Pada Jaringan Distribusi 20 KV," *JET J. Electr. Technol.*, vol. 5, no. 1, Art. no. 1, Jun 2020, doi: 10.30743/jet.v5i1.2566.
- [20] G. Roy, "An Automated Electrical Protection System against Lightning Strike," *Int. J. Res. Appl. Sci. Eng. Technol.*, 2023, doi: 10.22214/ijraset.2023.49979.
- [21] O. A. Mahendra, "Analisa Perencanaan Sistem Penangkal Petir dengan Metode Konvensional dan Elektrostatis pada Gedung SMK Bhakti Praja Jepara," Skripsi, Universitas Islam Sultan Agung Semarang, Semarang, 2022. Diakses: 20 Agustus 2025. [Daring]. Tersedia pada: https://repository.unissula.ac.id/30005/1/Teknik%20Elektro_30601700029_fullpdf.pdf
- [22] M. R. Saputra, "Perancangan Sistem Proteksi Petir Eksternal dan Internal Pembangkit Listrik Tenaga Surya Di RT 28 Kunangan Jaya 2 Desa Bungku," Skripsi, Universitas Jambi, Jambi, 2022. [Daring]. Tersedia pada: <https://repository.unja.ac.id/41777/1/SKRIPSIP%20FULL%20TEXT.pdf>
- [23] H. Gunawan, "Evaluasi Perancangan Metode Jala Sudut Proteksi Petir Eksternal pada Gedung Laboratorium Sentral Ilmu Hayati Universitas Borneo Tarakan," Skripsi, Universitas Borneo Tarakan, Tarakan, 2021. [Daring]. Tersedia pada: <https://repository.ubt.ac.id/repository/UBT04-01-2023-083440.pdf>
- [24] B. Purwadi, "Brosur Penangkal Petir KURN." 2017. Diakses: 15 Februari 2025. [Daring]. Tersedia pada: [https://image.indotrading.com/co18807/pdf/p676384/kurn%20\(teknogrounding\).pdf](https://image.indotrading.com/co18807/pdf/p676384/kurn%20(teknogrounding).pdf)
- [25] International Electrotechnical Commission (IEC), *Protection of structures against lightning - Part 1: General principles*, IEC 61024-1-1:1993, Geneva., Agustus 1993. [Daring]. Tersedia pada: <http://zinoglobal.com/wp-content/uploads/2019/12/IEC-61024-1-1.pdf>
- [26] International Electrotechnical Commission (IEC), *Protection against lightning – Part 2: Risk management*, Edition 2.0. Geneva: International Electrotechnical Commission, 2010. [Daring]. Tersedia pada: <http://zinoglobal.com/wp-content/uploads/2019/12/IEC62305-2.pdf>
- [27] "IEEE Recommended Practice for Grounding of Industrial and Commercial Power Systems," *IEEE Std 142-2007 Revis. IEEE Std 142-1991*, hlm. 1–225, Nov 2007, doi: 10.1109/IEEESTD.2007.4396963.
- [28] Badan Standardisasi Nasional (BSN), *Persyaratan Umum Instalasi Listrik (PUIL) 2020 – Bagian 1: Pendahuluan, prinsip fundamental dan definisi*, SNI 0225-1:2020, 2020. [Daring]. Tersedia pada: https://www.academia.edu/115136373/Persyaratan_Umum_Instalasi_Listrik_PUIL_2020_Bagian_1_Pendahuluan_prinsip_fundamental_dan_definisi
- [29] International Electrotechnical Commission (IEC), *Protection against lightning – Part 3: Physical damage to structures and life hazard*, IEC 62305-3:2010, 2010. doi: 978-2-83220-129-9.
- [30] National Fire Protection Association, *NFPA 780: Standard for the installation of lightning protection systems*, 2020. [Daring]. Tersedia pada: <https://edufire.ir/storage/Library/other/NFPA%20780-2020.pdf>