



Analisis Efektivitas Sistem Penyalur Petir pada Sisi Utara Bandar Udara Halim Perdana Kusuma

Mohammad Daffa Raflykhasah¹ Taryana² Suse Lamtiar Simbolon³

Program Studi D-IV Teknik Listrik Bandara, Politeknik Penerbangan Indonesia Curug,
Tangerang, Banten, Indonesia^{1,2,3}

Email: raflykashah@gmail.com¹ taryana@ppicurug.ac.id² suse.lamtiar@ppicurug.ac.id³

Abstrak

Bandar Udara Halim Perdanakusuma, khususnya bangunan pada sisi utara, memiliki kerawanan sambaran petir yang cukup tinggi, sebagaimana ditunjukkan oleh insiden sambaran petir tahun 2023 yang merusak peralatan elektronika bandara. Penelitian ini menggunakan metode kuantitatif evaluatif untuk menentukan tingkat risiko sambaran petir, menganalisis cakupan radius proteksi, serta mengevaluasi kesesuaian sistem penyalur petir eksisting terhadap ketentuan yang berlaku pada lima bangunan, yaitu Tower AirNav, Terminal Penumpang (Terminal Utama dan Terminal Citylink), *Power House* Lama, Gedung Sasana Manggala Praja, dan Terminal Kargo. Data dikumpulkan melalui observasi, pengukuran lapangan, wawancara, dan dokumentasi, dianalisis menggunakan PUIPP, SNI 03-7015-2004, IEC 62305, dan NF C 17-102. Hasil penelitian menunjukkan Tower AirNav memiliki tingkat risiko tertinggi dan merupakan satu-satunya bangunan yang telah memenuhi seluruh ketentuan proteksi petir. Empat bangunan lainnya masih memerlukan peningkatan sistem berupa penggantian atau penyesuaian tinggi terminasi udara *Early Streamer Emission* (ESE) agar cakupan proteksi memenuhi tingkat yang dipersyaratkan.

Kata Kunci: Penyalur Petir, Radius Proteksi, Tingkat Risiko, ESE



This work is licensed under a [Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/).

PENDAHULUAN

Indonesia berada di wilayah khatulistiwa dengan iklim tropis yang ditandai suhu dan kelembapan tinggi, sehingga jumlah hari guruh dan kepadatan sambaran petir setiap tahun tergolong besar dan berpotensi menimbulkan bahaya yang signifikan (Mulyadi et al., 2023). Petir terjadi akibat pelepasan muatan listrik di atmosfer karena perbedaan potensial yang besar, baik antar awan maupun antara awan dan bumi, serta menghasilkan energi dalam bentuk panas, cahaya, dan gelombang kejutan (Mahendra, 2022). Fenomena ini berisiko menimbulkan kerusakan bangunan, gangguan sistem tenaga listrik, dan terputusnya jaringan komunikasi sebagai bagian dari infrastruktur vital (Yuniarti, 2017), sehingga tidak hanya berdampak material tetapi juga dapat mengganggu kontinuitas layanan dan keselamatan operasional, khususnya pada fasilitas berkeandalan tinggi seperti bandar udara.

Bandar Udara Halim Perdanakusuma merupakan salah satu bandar udara strategis di Indonesia yang melayani penerbangan sipil, militer, dan kenegaraan, sehingga keandalan sistem kelistrikan dan fasilitas operasionalnya menjadi faktor penting bagi keselamatan dan kelancaran penerbangan. Berdasarkan rekapitulasi data cuaca penerbangan BMKG tahun 2025, wilayah bandar udara ini tercatat memiliki 177 hari guruh dalam satu tahun, nilai yang menurut SNI 03-7015-2004 termasuk kategori tingkat kerawanan petir tinggi sehingga memerlukan sistem proteksi petir yang andal. Pada sisi utara kawasan bandar udara terdapat beberapa bangunan operasional dengan fungsi dan karakteristik berbeda, yaitu Tower AirNav, Terminal Penumpang, *Power House* Lama, Gedung Sasana Manggala Praja, serta Terminal Kargo, yang masing-masing memerlukan sistem proteksi petir sesuai tingkat risiko dan kebutuhan perlindungannya. Indikasi permasalahan ditemukan pada bangunan *Power House* Baru yang belum teridentifikasi memiliki sistem penyalur petir memadai dan pernah

mengalami gangguan jaringan telepon akibat sambaran petir, sementara berdasarkan hasil wawancara, kejadian serupa juga pernah terjadi pada Terminal Penumpang tahun 2023 yang mengakibatkan gangguan pada perangkat *radio link*, *switch*, dan *firewall* milik Divisi Elektro.

Beberapa penelitian terdahulu telah mengkaji sistem proteksi petir pada berbagai jenis bangunan. Goh et al. (2017) menekankan bahwa penilaian risiko sambaran petir merupakan tahap awal yang menentukan sebelum pemilihan konfigurasi sistem proteksi eksternal. Karta (2020) menganalisis kebutuhan sistem proteksi petir pada gedung bertingkat dan menemukan bahwa metode konvensional menjadi kurang efisien pada bangunan dengan ketinggian dan luas atap yang besar. Naibaho dan Sofiyani (2021) mengevaluasi sistem proteksi petir eksternal tipe elektrostatik pada fasilitas industri dan menunjukkan bahwa sistem *Early Streamer Emission* (ESE) mampu memberikan cakupan proteksi yang lebih luas dengan jumlah unit terminasi udara yang jauh lebih sedikit dibandingkan sistem konvensional. Sementara itu, Rohani (2017) dan Nasution et al. (2024) mengevaluasi kesesuaian sistem penyalur petir eksisting pada gedung perkantoran dan kampus terhadap standar yang berlaku, dan menemukan bahwa sebagian sistem eksisting belum memenuhi tingkat proteksi yang dipersyaratkan.

Penelitian-penelitian tersebut umumnya membahas satu jenis bangunan dengan satu jenis sistem proteksi petir secara terpisah, serta lebih banyak mengacu pada standar kelistrikan umum tanpa mengaitkannya secara eksplisit dengan ketentuan operasional bandar udara. Belum ditemukan penelitian yang mengevaluasi secara komparatif beberapa bangunan dengan fungsi dan jenis sistem proteksi petir yang berbeda (konvensional batang tunggal, konvensional jala, dan elektrostatik) dalam satu kawasan bandar udara yang sama, sekaligus mengaitkan hasil evaluasi teknis dengan ketentuan regulasi penerbangan yang berlaku, yaitu Keputusan Direktur Jenderal Perhubungan Udara Nomor SKEP/157/IX/2003, Peraturan Direktur Jenderal Perhubungan Udara Nomor KP 103 Tahun 2015, Keputusan Direktur Jenderal Perhubungan Udara Nomor PR 21 Tahun 2023, serta SNI 0225:2011 (PUIL 2011) untuk aspek instalasi listrik dan pentanahan. Kesenjangan inilah yang menjadi dasar orisinalitas penelitian ini, yaitu evaluasi terintegrasi antara tingkat risiko sambaran petir, cakupan radius proteksi, dan kesesuaian regulasi pada lima bangunan dengan karakteristik dan jenis sistem proteksi petir yang beragam dalam satu kawasan operasional bandar udara yang sama, sehingga hasilnya dapat menjadi acuan teknis yang lebih menyeluruh bagi pihak pengelola.

No	Penulis / Tahun	Judul	Tujuan	Metode	Hasil	Kontribusi dan relevansi
1	Goh et al. (2017)	A Review of Lightning Protection System – Risk Assessment and Application	Mengkaji sistem proteksi petir berbasis analisis risiko pada berbagai sektor.	Kajian literatur.	Pendekatan berbasis risiko penting untuk menentukan tingkat proteksi sesuai karakteristik bangunan.	Menjadi dasar pendekatan risiko; penelitian ini menerapkannya pada beberapa bangunan operasional bandar udara.
2	Rohani (2017)	Evaluasi Sistem Penangkal Petir Eksternal di Gedung Rektorat Universitas Negeri Yogyakarta	Mengevaluasi efektivitas SPP konvensional yang sudah terpasang.	Perbandingan metode sudut proteksi dan elektrostatik.	Metode sudut proteksi memerlukan tambahan 27 finial; sistem elektrostatik memiliki radius proteksi 100 m pada objek penelitian.	Relevan pada evaluasi cakupan proteksi; penelitian ini mengevaluasi beberapa bangunan dengan tipe sistem berbeda.

3	Karta (2020)	Analisis Kebutuhan Sistem Proteksi Sambaran Petir Pada Gedung Bertingkat	Menentukan tingkat risiko dan kebutuhan proteksi berdasarkan frekuensi sambaran.	Kuantitatif.	Objek termasuk Level Proteksi IV; direkomendasikan empat terminasi udara setinggi 2 m dengan BC 16 mm ² .	Relevan untuk analisis kebutuhan berdasarkan tingkat risiko; penelitian ini membandingkan beberapa objek bandar udara.
4	Suyanto & Efendi (2019)	Analisa Perencanaan Penangkal Petir Pada Gedung Kampus Bima Sakti IST Akprind Yogyakarta	Merancang proteksi petir eksternal pada bangunan kampus.	Sistem ESE dengan pendekatan ruang nonkonvensional.	ESE KURN R80 pada ketinggian 27 m menghasilkan radius 79,45 m dan tahanan tanah 1,16 Ω.	Relevan untuk pendekatan ESE dan radius proteksi; penelitian ini menggabungkan ESE dan konvensional dalam evaluasi kawasan.
5	Sukamdi et al. (2023)	Perencanaan Instalasi Penangkal Petir Pada Bangunan Industri Furniture	Mengkaji penerapan sudut proteksi pada sistem penangkal petir.	Perencanaan sistem penyalur petir.	Pemilihan sudut proteksi yang lebih kecil mempersempit ruang proteksi dan meningkatkan kebutuhan jumlah terminasi udara.	Relevan untuk menjelaskan hubungan sudut proteksi, cakupan, dan kebutuhan terminasi pada objek penelitian.

Sistem penyalur petir telah terpasang pada sebagian bangunan di kawasan sisi utara Bandar Udara Halim Perdanakusuma, namun tingkat efektivitasnya dalam memberikan perlindungan, khususnya terhadap cakupan radius proteksi seluruh bagian bangunan, belum diketahui secara pasti, dan evaluasi kesesuaian sistem terhadap standar yang berlaku juga belum dilakukan secara menyeluruh. Kondisi tersebut berpotensi menimbulkan gangguan pada sistem kelistrikan dan komunikasi sebagaimana pernah terjadi sebelumnya, mengingat bangunan-bangunan di kawasan sisi utara memiliki fungsi vital seperti distribusi tenaga listrik dan pendukung navigasi penerbangan, sehingga gangguan yang terjadi tidak hanya berdampak pada peralatan tetapi juga berpotensi mengganggu keselamatan personel operasional, pengguna jasa bandara, serta kelancaran operasional penerbangan.

Berdasarkan uraian tersebut, rumusan masalah dalam penelitian ini meliputi: (1) bagaimana tingkat risiko sambaran petir pada bangunan di sisi utara Bandara Halim Perdanakusuma; (2) bagaimana cakupan radius proteksi sistem penyalur petir terhadap bangunan yang diteliti; dan (3) bagaimana kesesuaian sistem penyalur petir yang terpasang terhadap kebutuhan proteksi bangunan berdasarkan ketentuan yang berlaku. Sejalan dengan rumusan masalah tersebut, penelitian ini bertujuan untuk menentukan tingkat risiko sambaran petir, menganalisis cakupan radius proteksi sistem penyalur petir, serta menganalisis kesesuaian sistem penyalur petir terhadap kebutuhan proteksi bangunan pada lima bangunan di sisi utara Bandar Udara Halim Perdanakusuma. Hasil penelitian ini diharapkan dapat menjadi dasar penyusunan rekomendasi teknis bagi pihak pengelola bandara, khususnya pada bagian bangunan yang belum terproteksi secara optimal atau memerlukan peningkatan sistem proteksi petir.

Secara teknis, sistem proteksi petir eksternal dapat berupa sistem konvensional dengan terminasi udara berbentuk batang tunggal atau jala (*mesh*), maupun sistem elektrostatis *Early Streamer Emission* (ESE) yang bekerja berdasarkan prinsip pemajuan waktu streamer sesuai standar NF C 17-102 (Tang et al., 2019). Pemilihan metode analisis radius proteksi turut memengaruhi keandalan hasil evaluasi, mengingat karakteristik pembentukan streamer pada sistem elektrostatis berbeda dengan mekanisme sambaran alami yang dikaji melalui pengamatan kerapatan sambaran petir ke tanah (Pédeboy & Barnéoud, 2018). Dalam konteks

kebandarudaraan, keandalan sistem proteksi petir juga diatur secara khusus melalui ketentuan keselamatan operasional penerbangan, di antaranya persyaratan teknis kelistrikan bandar udara pada Keputusan Direktur Jenderal Perhubungan Udara Nomor SKEP/157/IX/2003, standar teknis dan operasi bandar udara pada Peraturan Direktur Jenderal Perhubungan Udara Nomor KP 103 Tahun 2015, serta ketentuan lanjutan pada Keputusan Direktur Jenderal Perhubungan Udara Nomor PR 21 Tahun 2023. Ketentuan-ketentuan tersebut menjadi acuan tambahan yang membedakan penelitian ini dari penelitian proteksi petir pada bangunan non-bandar udara, karena aspek keandalan sistem kelistrikan pada fasilitas navigasi dan pelayanan penumpang bandar udara memiliki konsekuensi langsung terhadap keselamatan penerbangan. Aspek instalasi listrik dan pentanahan pendukung turut mengacu pada SNI 0225:2011 (PUIL 2011) sebagai persyaratan umum instalasi listrik yang berlaku secara nasional, sehingga evaluasi pada penelitian ini disusun dengan mempertimbangkan keterpaduan antara standar teknis proteksi petir dan regulasi kebandarudaraan yang relevan.

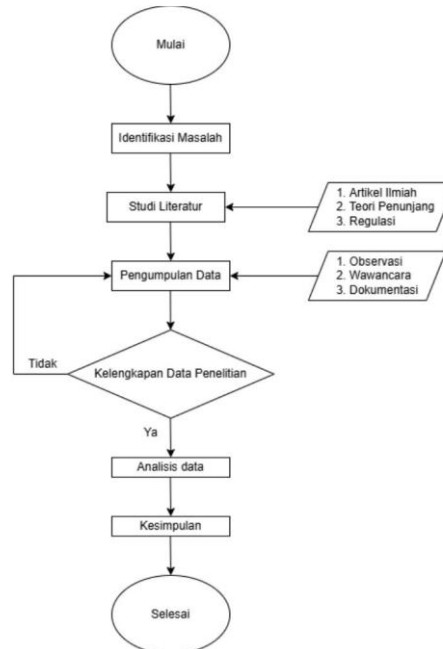
METODE PENELITIAN

Penelitian ini merupakan penelitian evaluatif dengan pendekatan kuantitatif, yang digunakan untuk menilai kesesuaian sistem penyalur petir pada bangunan di sisi utara Bandar Udara Halim Perdanakusuma berdasarkan ketentuan teknis yang berlaku. Evaluasi dilakukan dengan membandingkan kondisi sistem penyalur petir eksisting terhadap persyaratan dalam PUIPP, SNI 03-7015-2004, IEC 62305, dan NF C 17-102 sesuai jenis sistem proteksi petir yang digunakan pada masing-masing bangunan. Pendekatan kuantitatif dipilih karena penelitian didasarkan pada data numerik hasil pengukuran lapangan, observasi, dan dokumentasi (Sugiyono, 2019), yang digunakan untuk menganalisis tingkat risiko sambaran petir, cakupan radius proteksi, serta kesesuaian sistem penyalur petir berdasarkan hasil perhitungan yang mengacu pada standar yang berlaku.

Penelitian dilaksanakan di kawasan sisi utara Bandar Udara Halim Perdanakusuma, Jakarta, selama tujuh bulan pada Januari hingga Juli 2026, mencakup studi literatur, pengumpulan data lapangan, analisis kondisi eksisting, serta analisis sistem penyalur petir berdasarkan standar nasional dan internasional. Populasi penelitian adalah seluruh bangunan pada sisi utara bandar udara, dengan sampel dipilih menggunakan teknik purposive sampling berdasarkan fungsi bangunan, tingkat risiko sambaran petir, serta keterwakilan jenis sistem penyalur petir, yaitu Tower AirNav, Terminal Penumpang (dianalisis terpisah sebagai Terminal Utama dan Terminal Citylink karena perbedaan sistem penyalur petir), *Power House* Lama, Gedung Sasana Manggala Praja, dan Terminal Kargo. Evaluasi sistem eksisting dilakukan pada Tower AirNav, Terminal Penumpang, dan *Power House* Lama karena ketersediaan data teknis yang memadai, sedangkan pada Gedung Sasana Manggala Praja dan Terminal Kargo penelitian difokuskan pada analisis kebutuhan sistem proteksi petir karena data teknis eksisting tidak tersedia secara lengkap.

Teknik pengumpulan data meliputi observasi langsung terhadap konfigurasi terminasi udara, jalur *down conductor*, sistem pentanahan, bentuk atap, dan dimensi bangunan; wawancara semi-terstruktur dengan personel pengelola fasilitas kelistrikan mengenai riwayat gangguan akibat sambaran petir dan data teknis yang tidak tersedia dalam dokumen; dokumentasi berupa foto kondisi bangunan dan data inventaris sistem penyalur petir; serta studi literatur terhadap PUIPP, SNI 03-7015-2004, IEC 62305, NF C 17-102, SNI 0225:2011 (PUIL 2011), dan regulasi kebandarudaraan yang relevan, yaitu SKEP/157/IX/2003, KP 103 Tahun 2015, dan PR 21 Tahun 2023. Data yang terkumpul selanjutnya diolah melalui tahapan kompilasi data, analisis tingkat risiko sambaran petir berdasarkan PUIPP, SNI 03-7015-2004, dan IEC 62305, analisis cakupan radius proteksi menggunakan metode sudut proteksi, jala,

atau ESE sesuai jenis sistem yang terpasang, evaluasi kesesuaian sistem eksisting, analisis kebutuhan sistem proteksi pada bangunan dengan data terbatas, dan penyusunan rekomendasi teknis. Alur pelaksanaan penelitian secara keseluruhan disajikan pada Gambar 1.



Gambar 1. Flowchart Metode Penelitian

HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

Hasil Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan pada lima bangunan operasional di sisi utara Bandar Udara Halim Perdanakusuma, yaitu Tower AirNav, Terminal Penumpang (Terminal Utama dan Terminal Citylink), *Power House* Lama, Gedung Sasana Manggala Praja, dan Terminal Kargo, yang memiliki fungsi dan jenis sistem penyalur petir berbeda: elektrostatik (ESE) pada Tower AirNav dan Gedung Sasana Manggala Praja, serta konvensional (jala pada Terminal Utama, batang tunggal pada Terminal Citylink, *Power House* Lama, dan Terminal Kargo). Hasil analisis tingkat risiko dengan metode PUIPP dan penentuan tingkat proteksi berdasarkan SNI 03-7015-2004 dan IEC 62305 pada keenam unit bangunan disajikan pada Tabel 1. Nilai risiko (R) tertinggi terdapat pada Tower AirNav, diikuti Terminal Utama dan *Power House* Lama, sedangkan nilai efisiensi proteksi berdasarkan IEC 62305 menunjukkan lima bangunan memerlukan Tingkat Proteksi I dan satu bangunan, yaitu Gedung Sasana Manggala Praja, memerlukan Tingkat Proteksi IV.

Tabel 1. Rekapitulasi Tingkat Risiko dan Tingkat Proteksi Bangunan

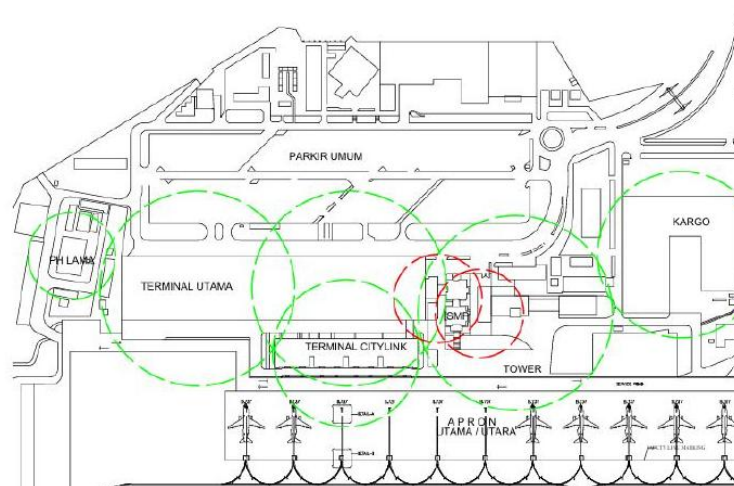
Bangunan	R (PUIPP)	Kategori PUIPP	Tingkat Proteksi (IEC/SNI)
Tower AirNav	18	Sangat besar	I
Terminal Utama	14	Besar	I
Terminal Citylink	13	Agak besar	I
Power House Lama	14	Besar	I
Sasana Manggala Praja	12	Sedang	IV
Terminal Kargo	11	Kecil	I

Tabel 1 menunjukkan bahwa nilai risiko (R) tertinggi terdapat pada Tower AirNav, sedangkan tingkat proteksi (LPL) berdasarkan IEC 62305 dan SNI 03-7015-2004 menunjukkan lima bangunan memerlukan Tingkat Proteksi I dan satu bangunan memerlukan Tingkat

Proteksi IV. Analisis radius proteksi menunjukkan Tower AirNav dengan sistem ESE Plasma Current R120 ($\Delta T = 60 \mu s$, $h = 6 \text{ m}$) menghasilkan radius proteksi 78,77 m, jauh melampaui jarak terjauh ke sudut bangunan sebesar 44,72 m, sehingga seluruh area bangunan telah tercakup. Sebaliknya, sistem konvensional pada bangunan lain belum memberikan cakupan proteksi yang memadai: konfigurasi jala $12 \text{ m} \times 12 \text{ m}$ pada Terminal Utama hanya memenuhi Tingkat Proteksi III dan memerlukan penambahan hingga 600 titik terminasi udara untuk mencapai Tingkat Proteksi I; sistem batang tunggal pada Terminal Citylink hanya melindungi 9,68% luas atap; dan empat *splitzer* pada *Power House* Lama hanya melindungi 1,15% luas atap. Pada Terminal Kargo, kebutuhan terminasi udara konvensional mencapai sekitar 1.935 titik untuk mencapai cakupan Tingkat Proteksi I, sehingga dianalisis alternatif berupa satu unit ESE dengan tinggi minimum 4,61 m. Gedung Sasana Manggala Praja telah memiliki cakupan proteksi memadai secara teoritis, namun ketinggian terminasi udara eksisting belum memenuhi ketentuan minimum 2 m di atas bidang atap sesuai NF C 17-102. Berdasarkan hasil evaluasi kesesuaian terhadap PUIPP, SNI 03-7015-2004, IEC 62305, dan NF C 17-102, hanya Tower AirNav yang telah memenuhi seluruh ketentuan yang berlaku, sedangkan lima bangunan lainnya memerlukan perbaikan sistem penyalur petir. Rekomendasi teknis yang disusun berupa penggantian sistem konvensional dengan ESE beserta jumlah unit dan tinggi minimum terminasi udara, sebagaimana dirangkum pada Tabel 2 dan diilustrasikan pada Gambar 2.

Tabel 2. Rekapitulasi Rekomendasi Teknis Sistem Proteksi Petir

Bangunan	Rekomendasi	Jumlah Unit	Tinggi Minimum
Tower AirNav	Tidak diperlukan (telah sesuai)	-	-
Terminal Utama	Ganti ke ESE, sepanjang punggung atap	2	4,27 m
Terminal Citylink	Ganti ke ESE, titik tengah atap	1	3,59 m
Power House Lama	Ganti ke ESE, titik tengah atap	1	2 m
Terminal Kargo	Ganti ke ESE, titik tengah atap	1	4,61 m
Sasana Manggala Praja	Penyesuaian tinggi eksisting (tanpa reposisi)	2 (eksisting)	2 m



Gambar 2. Overlay Radius Proteksi Sistem Rekomendasi

Gambar 2 memperlihatkan cakupan radius proteksi seluruh bangunan setelah penerapan rekomendasi teknis pada Tabel 2, dengan lingkaran hijau menunjukkan cakupan proteksi bangunan yang direkomendasikan menggunakan ESE dan lingkaran merah menunjukkan cakupan Tower AirNav yang telah sesuai ketentuan.

Pembahasan

Tingginya nilai risiko pada Tower AirNav sejalan dengan fungsinya sebagai fasilitas navigasi penerbangan yang kritis serta ketinggian bangunan yang dominan, sedangkan nilai risiko yang relatif lebih rendah pada Terminal Kargo dan Gedung Sasana Manggala Praja sesuai dengan tingkat kepentingan fungsi dan penggunaan bangunan menurut kriteria PUIPP. Pola ini konsisten dengan temuan Karta (2020) bahwa fungsi dan ketinggian bangunan merupakan faktor dominan dalam penentuan tingkat risiko sambaran petir, serta memperkuat pentingnya penilaian risiko sebagai tahap awal sebelum penentuan konfigurasi sistem proteksi sebagaimana ditekankan oleh Goh et al. (2017). Kesenjangan cakupan proteksi pada Terminal Utama, Terminal Citylink, dan Power House Lama menunjukkan bahwa sistem konvensional yang terpasang dirancang tanpa memperhitungkan kebutuhan Tingkat Proteksi I yang disyaratkan oleh tingginya frekuensi sambaran petir di kawasan bandar udara. Temuan ini sejalan dengan Naibaho dan Sofiyani (2021) yang menunjukkan bahwa sistem ESE mampu memberikan cakupan proteksi yang setara atau lebih luas dengan jumlah unit terminasi udara yang jauh lebih sedikit dibandingkan sistem konvensional, sehingga secara teknis lebih efisien untuk diterapkan pada bangunan dengan luas atap besar seperti Terminal Utama dan Terminal Kargo pada penelitian ini. Berbeda dengan Rohani (2017) dan Nasution et al. (2024) yang mengevaluasi bangunan tunggal, penelitian ini menunjukkan bahwa pola ketidaksesuaian dapat bervariasi antarbangunan meskipun berada dalam satu kawasan dan menghadapi tingkat kerawanan petir yang sama, sehingga strategi perbaikan perlu disesuaikan secara spesifik pada tiap bangunan alih-alih diseragamkan.

Riwayat gangguan pada perangkat *radio link*, *switch*, dan *firewall* Divisi Elektro akibat sambaran petir tahun 2023 memperkuat urgensi perbaikan sistem proteksi pada Terminal Penumpang, sekaligus menegaskan bahwa ketidaksesuaian sistem penyalur petir eksternal berpotensi berdampak langsung terhadap keandalan sistem elektronika dan komunikasi bandar udara. Dalam konteks ini, kesesuaian sistem proteksi petir eksternal tidak dapat dilepaskan dari ketentuan keselamatan operasional penerbangan pada SKEP/157/IX/2003 dan KP 103 Tahun 2015 serta ketentuan lanjutan pada PR 21 Tahun 2023, yang mensyaratkan keandalan tinggi pada fasilitas kelistrikan penunjang navigasi dan pelayanan penumpang, maupun ketentuan umum instalasi listrik dan pentanahan pada SNI 0225:2011 (PUIL 2011) yang relevan sebagai pelengkap evaluasi proteksi eksternal. Kebaruan penelitian ini terletak pada evaluasi terintegrasi antara tingkat risiko, cakupan radius proteksi, dan kesesuaian regulasi pada lima bangunan dengan jenis sistem proteksi petir yang beragam dalam satu kawasan operasional bandar udara, yang belum banyak dikaji pada penelitian-penelitian terdahulu yang umumnya berfokus pada satu bangunan dan satu jenis sistem. Pendekatan penggantian bertahap ke sistem ESE yang direkomendasikan pada penelitian ini juga mempertimbangkan efisiensi jumlah unit terminasi udara serta kemudahan inspeksi dan pemeliharaan, sehingga dapat menjadi acuan teknis yang lebih aplikatif bagi pihak pengelola bandar udara dalam merencanakan peningkatan sistem proteksi petir tanpa mengganggu operasional yang sedang berjalan.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisis dan pembahasan mengenai sistem penyalur petir pada bangunan di sisi utara Bandar Udara Halim Perdanakusuma, dapat disimpulkan bahwa tingkat risiko sambaran petir tertinggi berdasarkan metode PUIPP terdapat pada Tower AirNav, diikuti Terminal Utama, *Power House* Lama, Terminal Citylink, Gedung Sasana Manggala Praja, dan Terminal Kargo, dengan lima bangunan memerlukan Tingkat Proteksi I berdasarkan SNI 03-7015-2004 dan IEC 62305, sedangkan Gedung Sasana Manggala Praja memerlukan Tingkat Proteksi IV. Hasil analisis radius proteksi menunjukkan hanya Tower AirNav yang memiliki

cakupan proteksi menyeluruh, sedangkan lima bangunan lainnya belum memenuhi cakupan proteksi yang dipersyaratkan. Berdasarkan PUIPP, SNI 03-7015-2004, IEC 62305, dan NF C 17-102, hanya Tower AirNav yang telah sesuai dengan seluruh ketentuan yang berlaku, sementara lima bangunan lainnya memerlukan perbaikan sistem penyalur petir berupa penggantian atau penyesuaian tinggi terminasi udara *Early Streamer Emission* (ESE). Ketiga temuan ini menunjukkan pola yang sama, yaitu kesenjangan antara tingkat risiko yang dihadapi dan kapasitas proteksi eksisting, terutama pada bangunan dengan fungsi operasional kritis, sehingga menegaskan perlunya pendekatan proteksi petir yang menyeluruh dan berbasis risiko di kawasan bandar udara.

Sebagai tindak lanjut, Terminal Utama, Terminal Citylink, dan *Power House* Lama disarankan segera dilakukan penambahan atau penyesuaian tinggi terminasi udara ESE, Gedung Sasana Manggala Praja dan Terminal Kargo disarankan menjalani pendataan teknis lanjutan karena data eksisting masih bersifat asumsi, serta perlu dipertimbangkan penambahan sistem proteksi internal berupa *Surge Protective Device* (SPD) pada panel kelistrikan bangunan yang diteliti. Untuk pengembangan ke depan, cakupan proteksi Terminal Utama dapat diperluas hingga mencakup Terminal Citylink, dan cakupan proteksi *Power House* Lama diperluas hingga mencakup *Power House* Baru, sehingga keandalan sistem proteksi petir di seluruh kawasan sisi utara bandar udara dapat lebih terjamin. Ucapan terima kasih disampaikan kepada Taryana, S.SiT., M.M. dan Ir. Suse Lamtiar Simbolon, M.M. selaku dosen pembimbing, Program Studi D-IV Teknik Listrik Bandara Politeknik Penerbangan Indonesia Curug, serta pihak pengelola fasilitas kelistrikan Bandar Udara Halim Perdanakusuma atas dukungan data dan izin penelitian yang diberikan.

DAFTAR PUSTAKA

- Goh, H. H., Sim, S., Shaari, J., Azali, N. A., & Ling, C. W. (2017). A review of lightning protection system - risk assessment and application. *Indonesian Journal of Electrical Engineering and Computer Science*, 8(1), 221–229. <https://doi.org/10.11591/ijeecs.v8.i1.pp221-229>
- IEC 62305-3. (2006). Protection against lightning - Part 3: Physical damage to structures and life hazard. International Electrotechnical Commission.
- Karta, A. (2020). Analisis kebutuhan sistem proteksi sambaran petir pada gedung bertingkat. *Jurnal Teknik Elektro*, 9(3), 773–780.
- Keputusan Direktur Jenderal Perhubungan Udara Nomor PR 21 Tahun 2023 (2023).
- Keputusan Direktur Jenderal Perhubungan Udara Nomor SKEP/157/IX/03 tentang Standar Kelistrikan Bandar Udara (2003).
- Mahendra, O. A. (2022). Analisa sistem penangkal petir dengan metode konvensional dan elektrostatis pada gedung SMK Bhakti Praja Jepara. Universitas Negeri Semarang.
- Mulyadi, Z., Usrah, I., & Andang, A. (2023). Perencanaan sistem proteksi penangkal petir di Stadion Sakti Lodaya Kecamatan Cisayong Kabupaten Tasikmalaya. *Journal of Energy and Electrical Engineering (JEEE)*, 9(2), 1–9. <https://jurnal.unsil.ac.id/index.php/jeee/article/view/6118>
- Naibaho, N., & Sofiyani, A. I. (2021). Analisa sistem proteksi petir eksternal tipe elektrostatis di PT. Pamapersada Nusantara Distrik CCOS Cileungsi - Bogor. *Jurnal Ilmiah Elektrokrisna*, 9(2), 112–125. <https://jurnalteknik.unkris.ac.id/index.php/jie/article/view/130>
- Nasution, F. A., Putri, R., & Ikhsan, K. (2024). Kajian awal penangkal petir pada gedung bertingkat di wilayah Bukit Indah Lhokseumawe. *Jurnal Teknik Elektro*, 6, 145–150.
- NF C 17-102. (2012). Protection of structures and open areas against lightning using early streamer emission air terminals. Union Technique de l'Electricité.



- Pédeboy, S., & Barnéoud, P. (2018). Analysis of the intra-cloud lightning activity detected with low frequency lightning locating systems. In Proceedings of the International Lightning Detection Conference.
- Peraturan Direktur Jenderal Perhubungan Udara Nomor KP 103 Tahun 2015 tentang Standar Teknis dan Operasi Bandar Udara (2015).
- Peraturan Umum Instalasi Penangkal Petir (PUIPP) (1983).
- Rohani, R. (2017). Evaluasi sistem penangkal petir eksternal di Gedung Rektorat Universitas Negeri Yogyakarta. *Jurnal Edukasi Elektro*, 1(2), 187–195. <https://doi.org/10.21831/jee.v1i2.17423>
- SNI 0225:2011. Persyaratan Umum Instalasi Listrik 2011 (PUIL 2011). Badan Standardisasi Nasional.
- SNI 03-7015-2004. Sistem proteksi petir pada bangunan gedung. Badan Standardisasi Nasional.
- Sugiyono. (2019). Metode penelitian kuantitatif, kualitatif, dan R&D. Alfabeta.
- Tang, X., Yang, F., Zheng, Z., Hu, Y., Wu, X., & Hou, H. (2019). Research on the improving lightning protection level for strong lightning activity area and easily suffering lightning strike distribution line. *Procedia Computer Science*, 155, 809–814. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2019.08.119>
- Yuniarti, N. (2017). Evaluasi sistem penangkal petir eksternal di gedung rektorat universitas negeri yogyakarta. *Jurnal Edukasi Elektro*, 1(2), 187–195.