



Analisis Kesesuaian Sistem Penerangan Apron Floodlight Untuk Mendukung Keselamatan Operasional Penerbangan di Bandar Udara Karel Sadsuitubun

Nurul Daniah Hasbi¹ Yenni Arnas² Edy Kurniawan³

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

Email: nuruldaniahasbi00@gmail.com¹ yenni.arnas@ppicurug.ac.id²
edysiregar80@gmail.com³

Abstract

This study was prompted by inadequate and uneven apron lighting intensity at Karel Sadsuitubun Airport, Langgur, resulting from the performance degradation of the existing halogen lamps. It aims to evaluate the compliance of actual illuminance levels with Directorate General of Civil Aviation Regulation No. PR 21 of 2023 and ICAO Annex 14, and to examine the effect of lighting system reliability on flight operational safety. A descriptive quantitative approach was applied through field measurements using a Digital Lux Meter under dry and wet surface conditions across Parking Stands 1–4 and the terminal transition area, supplemented by a questionnaire administered to 42 airside operational personnel. Data analysis included illuminance comparison, uniformity ratio calculation, and inferential statistical testing (partial linear regression and coefficient of determination) using SPSS version 26. Results show that average apron lighting levels range from 2.00 to 14.25 Lux, below the regulatory minimum of 20 Lux, with the most critical condition at Parking Stands 3 and 4 (2.00–3.50 Lux) due to the absence of dedicated floodlight masts. The partial regression test (t-test) yielded t-count (8.039) > t-table (2.021) with a significance level < 0.001 and a coefficient of determination (R^2) of 60.8%, confirming that apron floodlight quality has a significant positive effect on flight safety. Preventive maintenance and migration to LED technology are recommended to improve airside ground operation reliability and safety.

Keywords: Apron Floodlight, Flight Safety, Karel Sadsuitubun Airport, Lighting Intensity, Lux, PR 21 Year 2023

Abstrak

Penelitian ini dilatarbelakangi oleh permasalahan intensitas penerangan apron di Bandar Udara Karel Sadsuitubun, Langgur, yang dinilai kurang memadai dan tidak merata sebagai akibat penurunan kinerja (depresiasi) lampu halogen eksisting. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis kesesuaian kuat penerangan aktual terhadap ketentuan Peraturan Direktur Jenderal Perhubungan Udara Nomor PR 21 Tahun 2023 dan ICAO Annex 14, serta menguji pengaruh keandalan sistem penerangan tersebut terhadap keselamatan operasional penerbangan. Penelitian menggunakan pendekatan kuantitatif deskriptif melalui pengukuran lapangan dengan Digital Lux Meter pada kondisi permukaan kering dan basah di Parking Stand 1–4 serta area transisi gedung terminal, yang dilengkapi dengan penyebaran kuesioner kepada 42 personel operasional sisi udara. Analisis data mencakup komparasi nilai iluminansi, rasio keseragaman cahaya (*uniformity ratio*), serta uji statistik inferensial (regresi linear parsial dan koefisien determinasi) menggunakan SPSS versi 26. Hasil pengukuran menunjukkan kuat penerangan rata-rata di area apron berkisar antara 2,00–14,25 Lux, berada di bawah standar minimal regulasi sebesar 20 Lux. Kondisi paling kritis ditemukan pada Parking Stand 3 dan 4 (2,00–3,50 Lux) akibat belum tersedianya tiang floodlight mandiri. Hasil uji regresi parsial (uji t) menunjukkan nilai t-hitung (8,039) lebih besar dari t-tabel (2,021) dengan taraf signifikansi < 0,001, serta koefisien determinasi (R^2) sebesar 60,8%, yang membuktikan bahwa kualitas pencahayaan apron floodlight berpengaruh positif dan signifikan terhadap keselamatan penerbangan. Penelitian ini merekomendasikan pemeliharaan preventif secara berkala serta migrasi ke teknologi lampu LED guna meningkatkan keandalan dan keselamatan operasional darat.

Kata Kunci: Apron Floodlight, Bandar Udara Karel Sadsuitubun, Intensitas Penerangan, Lux, PR 21 Tahun 2023, Keselamatan Penerbangan



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

PENDAHULUAN

Berdasarkan Undang-Undang Republik Indonesia Nomor 1 Tahun 2009 tentang Penerbangan, bandar udara didefinisikan sebagai kawasan tertentu di darat dan/atau perairan dengan batas-batas tertentu yang digunakan sebagai tempat pesawat udara mendarat dan lepas landas, naik turun penumpang, bongkar muat barang, serta tempat perpindahan intra dan antarmoda transportasi, yang dilengkapi dengan fasilitas keselamatan dan keamanan penerbangan (Kementerian Perhubungan Republik Indonesia, 2009). Bandar Udara Karel Sadsuitubun yang terletak di Langgur, Kabupaten Maluku Tenggara, memiliki peran vital dalam mendukung konektivitas, mobilitas masyarakat, pariwisata, serta pengembangan ekonomi di wilayah Kepulauan Kei, yang secara geografis relatif terisolasi dari pusat-pusat pertumbuhan di Indonesia bagian timur. Secara operasional, Bandar Udara Karel Sadsuitubun melayani 2 hingga 7 pergerakan pesawat per hari pada jam operasional reguler pukul 07.00–17.00 waktu setempat. Meskipun demikian, gangguan cuaca buruk atau kendala teknis kerap menyebabkan perpanjangan jam operasional (*extend/night operation*) hingga pukul 18.00–20.00 waktu setempat. Pada kondisi operasional malam hari tersebut, keandalan sistem penerangan di pelataran parkir pesawat (*apron*) menjadi salah satu elemen keselamatan yang paling krusial, mengingat aktivitas *ground handling*, *refueling*, dan pergerakan kendaraan darat menuntut visibilitas yang memadai bagi seluruh personel yang terlibat.

Apron merupakan area vital yang dialokasikan untuk penataan posisi parkir pesawat, bongkar muat kargo, mobilisasi penumpang, pengisian bahan bakar (*refueling*), serta pelayanan darat (*ground handling*). Berdasarkan Peraturan Direktur Jenderal Perhubungan Udara Nomor PR 21 Tahun 2023 tentang Standar Teknis dan Operasi PKPS Bagian 139 Volume I Aerodrome Daratan dan ICAO Annex 14 Volume I (International Civil Aviation Organization, 2022), standar minimal pencahayaan horizontal dan vertikal di area *apron* ditetapkan sebesar 20 Lux, dengan rasio keseragaman cahaya yang harus dijaga agar tidak menimbulkan area gelap yang mengganggu proses inspeksi visual. Isu degradasi kuat penerangan *apron* sesungguhnya bukan persoalan yang unik pada satu bandar udara saja. Amir (2023) menemukan kondisi serupa di Bandar Udara Internasional Jenderal Ahmad Yani Semarang, di mana sejumlah titik pengukuran belum memenuhi standar minimal akibat usia armatur yang telah melampaui masa pakai efektif. Temuan yang sebanding juga dilaporkan oleh Pamungkas (2021) pada bandar udara yang sama, serta oleh Suprihartini (2019) di *apron* selatan Bandar Udara Internasional I Gusti Ngurah Rai Bali dan Mahendro (2023) di Terminal 1 Bandar Udara Internasional Soekarno-Hatta, yang keduanya menegaskan hubungan antara kualitas pencahayaan *apron* dan keselamatan operasional darat. Sementara itu, Taryana dan Soebiantoro (2020) menunjukkan bahwa migrasi ke teknologi lampu LED di Bandar Udara Adi Soemarmo mampu memperbaiki keseragaman iluminansi secara signifikan dibandingkan lampu konvensional, dan Yasa (2021) membuktikan bahwa migrasi tersebut juga berdampak pada efisiensi konsumsi energi kelistrikan bandar udara.

Dari sisi keselamatan sisi udara, Syafitri, Saleh, dan Russeng (2022) serta Sutarwati dan Simanjuntak (2023) menegaskan bahwa keterbatasan visibilitas dan pengawasan di area *apron* termasuk salah satu sumber bahaya operasional yang perlu dimitigasi secara sistematis. Secara teknis, penurunan kinerja lampu dari waktu ke waktu juga telah dijelaskan secara baku melalui konsep *maintenance factor* pada CIE 154:2003 (Commission Internationale de l'Éclairage, 2003) serta pedoman perancangan alat bantu visual bandar udara pada ICAO Doc 9157 Part 4 (International Civil Aviation Organization, 2021) dan FAA Advisory Circular 150/5340-30J (Federal Aviation Administration, 2018). Namun demikian, penelitian-penelitian tersebut umumnya dilakukan pada bandar udara kelas menengah-besar dengan pola operasional siang hari yang relatif tetap, sedangkan kajian pada bandar udara perintis dengan karakteristik

operasi malam tidak terjadwal (*extend/night operation*) dan keterbatasan logistik suku cadang, seperti Bandar Udara Karel Sadsuitubun, masih sangat terbatas. Kesenjangan inilah yang mendasari urgensi penelitian ini.

Berdasarkan hasil observasi awal di Bandar Udara Karel Sadsuitubun, sistem penerangan apron floodlight yang menggunakan teknologi lampu halogen terindikasi mengalami penurunan intensitas cahaya akibat penyusutan performa (*depreciation factor*) seiring bertambahnya usia pakai armatur, serta terkendala oleh minimnya ketersediaan unit lampu cadangan. Kondisi tersebut berpotensi menimbulkan area remang-remang (*dark spot*) yang menyulitkan pelaksanaan inspeksi keselamatan pesawat (*walk-around check*), meningkatkan risiko bahaya pergerakan kendaraan *Ground Support Equipment* (GSE), serta mengganggu ketepatan visualisasi pilot maupun marshaller terhadap marka henti (*stop line*). Merujuk pada uraian tersebut, penelitian ini dirumuskan untuk menjawab tiga pertanyaan utama: (1) bagaimana kesesuaian kuat penerangan aktual apron floodlight terhadap standar regulasi yang berlaku pada kondisi permukaan kering dan basah; (2) bagaimana tingkat keseragaman distribusi cahaya (*uniformity ratio*) pada masing-masing titik parkir pesawat; dan (3) sejauh mana pengaruh keandalan sistem *apron floodlight* terhadap keselamatan operasional penerbangan di Bandar Udara Karel Sadsuitubun. Dengan demikian, penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi kesesuaian kuat penerangan aktual terhadap standar regulasi yang berlaku serta menganalisis sejauh mana pengaruh keandalan apron floodlight terhadap keselamatan penerbangan, sekaligus merumuskan rekomendasi teknis yang aplikatif bagi pengelola bandar udara perintis dengan karakteristik operasional serupa.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan pendekatan kuantitatif deskriptif. Penelitian dilaksanakan pada bulan Maret hingga Mei 2026 di Bandar Udara Karel Sadsuitubun, Langgur, Kabupaten Maluku Tenggara. Pengumpulan data dilakukan melalui dua instrumen utama, yaitu pengukuran teknis objektif di lapangan dan penyebaran kuesioner persepsi kepada personel operasional sisi udara.

1. Pengukuran Teknis Iluminansi Lapangan (Data Lux). Pengukuran dilakukan pada malam hari dalam kondisi apron tanpa pergerakan pesawat, menggunakan Digital Lux Meter Smart Sensor AS803. Pengukuran dieksekusi pada dua kondisi permukaan apron yang berbeda, yaitu kondisi bulan cerah (permukaan kering) dan kondisi setelah hujan (permukaan basah). Titik sampel ditentukan berdasarkan metode titik kritis marka pada Parking Stand 1 sampai dengan 4 (*stop line*, area mesin, roda utama, kargo) serta area transisi di depan pintu terminal.
2. Kuesioner Persepsi Personel Sisi Udara. Pengambilan sampel responden menggunakan teknik purposive sampling terhadap 42 responden yang terdiri atas personel Apron Movement Control (AMC), Aviation Security (AVSEC), Ground Handling, dan Kargo. Data diukur menggunakan Skala Likert 1–5.

Teknik analisis data teknis dihitung menggunakan rumus rerata iluminansi E rata-rata dan rasio keseragaman cahaya $U_k = E_{\text{minimum}} \div E_{\text{rata-rata}}$. Sementara itu, data kuesioner diolah menggunakan perangkat lunak SPSS versi 26, mencakup uji validitas, uji reliabilitas (Cronbach's Alpha > 0,60), uji asumsi klasik (normalitas Kolmogorov-Smirnov, heteroskedastisitas, linearitas), serta uji regresi linear parsial (uji t) dan koefisien determinasi (R^2).

HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

Hasil Penelitian

Hasil pengukuran kuat penerangan aktual menggunakan Digital Lux Meter pada kondisi kering (bulan cerah) dan basah (setelah hujan) disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1. Rekapitulasi Hasil Pengukuran Intensitas Cahaya (Lux) dan Standar Regulasi

No	Lokasi / Titik Pengukuran Kritis	Cerah (Lux)	Basah (Lux)	Standar PR 21/2023
Parking Stand 1 (Tipe ATR 72)				
1	Marka Stop Line	16	12	20 Lux
2	Proyeksi Area Mesin Kiri	17	13	20 Lux
3	Proyeksi Area Mesin Kanan	13	11	20 Lux
4	Proyeksi Area Ekor Pesawat	11	9	20 Lux
Parking Stand 2 (Tipe Boeing 737-800)				
1	Marka Stop Line	9	4	20 Lux
2	Proyeksi Area Mesin Kiri	6	8	20 Lux
3	Proyeksi Area Mesin Kanan	4	6	20 Lux
4	Proyeksi Area Ekor Pesawat	2	5	20 Lux
5	Proyeksi Area Kargo Depan	2	10	20 Lux
6	Proyeksi Area Kargo Belakang	2	7	20 Lux
Parking Stand 3 & 4 (Area Limpahan Sinar)				
1	Marka Stop Line PS 3	5	3	20 Lux
2	Marka Stop Line PS 4	2	1	20 Lux
Area Transisi Gedung Terminal				
1	Depan Pintu Keberangkatan 3	48	37	10 Lux
2	Baggage Breakdown Area	25	20	10 Lux

Berdasarkan data pada Tabel 1, dilakukan perhitungan nilai rata-rata iluminansi (E rata-rata) dan rasio keseragaman cahaya (U_k) pada masing-masing titik parkir. Pada Parking Stand 1, rata-rata iluminansi kondisi cerah tercatat sebesar 14,25 Lux dan kondisi basah 11,25 Lux, dengan rasio keseragaman berkisar antara 0,77 hingga 0,80; nilai ini belum memenuhi standar minimal 20 Lux, meskipun sebaran cahayanya relatif merata. Pada Parking Stand 2, rata-rata iluminansi kondisi cerah tercatat 4,17 Lux dan kondisi basah 6,67 Lux, dengan rasio keseragaman U_k yang jauh lebih rendah, yaitu 0,48 hingga 0,60, yang menunjukkan ketimpangan sebaran cahaya antara area terang dan gelap. Kondisi paling kritis ditemukan pada Parking Stand 3 dan 4, dengan rata-rata iluminansi hanya 2,00 hingga 3,50 Lux, karena kedua titik parkir tersebut belum memiliki tiang floodlight mandiri dan hanya mengandalkan limpahan cahaya (spill light) dari tiang floodlight Parking Stand 1 dan 2. Sebaliknya, Area Transisi Gedung Terminal mencatatkan nilai iluminansi antara 20 hingga 48 Lux, jauh melampaui ambang batas minimal regulasi sebesar 10 Lux untuk kawasan tersebut.

Hasil uji validitas terhadap 10 indikator (5 butir Variabel X dan 5 butir Variabel Y) menunjukkan seluruh nilai r -hitung (0,594–0,886) lebih besar dari r -tabel (0,304), sehingga seluruh butir kuesioner dinyatakan valid. Uji reliabilitas Cronbach's Alpha menghasilkan nilai 0,784 untuk Variabel X dan 0,826 untuk Variabel Y, yang keduanya berada di atas ambang 0,60 sehingga instrumen dinyatakan reliabel. Uji normalitas One-Sample Kolmogorov-Smirnov menghasilkan nilai Asymp. Sig. (2-tailed) sebesar 0,090 ($> 0,05$), yang mengonfirmasi bahwa data berdistribusi normal. Uji heteroskedastisitas Glejser menghasilkan nilai signifikansi sebesar 0,640 ($> 0,05$) dengan pola sebaran pada scatterplot yang tampak acak, sehingga model regresi dinyatakan bebas dari masalah heteroskedastisitas. Uji linearitas menunjukkan nilai Deviation from Linearity Sig. sebesar 0,208 ($> 0,05$) dan F -hitung (1,466) lebih kecil dari F -tabel (2,244), yang membuktikan adanya hubungan linear yang signifikan antara variabel

pencahayaannya apron floodlight dan variabel keselamatan penerbangan. Pengujian hipotesis dilakukan untuk mengetahui tingkat pengaruh keandalan sistem apron floodlight (X) terhadap keselamatan operasional penerbangan (Y). Hasil pengujian disajikan pada Tabel 2.

Tabel 2. Hasil Uji Regresi Linear Parsial (Uji t)

Variabel	Koefisien B	Std. Error	t-hitung	t-tabel	Sig.
(Konstanta)	1,178	0,562	2,096	-	0,042
Apron Floodlight (X)	0,702	0,087	8,039	2,021	< 0,001

Berdasarkan Tabel 2, diperoleh nilai t-hitung sebesar 8,039 yang lebih besar dari t-tabel (2,021) dengan nilai signifikansi $< 0,001$ ($< 0,05$). Dengan demikian, H_0 ditolak dan H_a diterima, yang membuktikan bahwa keandalan sistem apron floodlight memiliki pengaruh positif dan signifikan terhadap keselamatan penerbangan di Bandar Udara Karel Sadsuitubun. Hasil uji koefisien determinasi (R^2) menghasilkan nilai R Square sebesar 0,618 dan Adjusted R Square sebesar 0,608, yang menunjukkan bahwa variabel pencahayaannya apron floodlight memberikan kontribusi pengaruh sebesar 60,8% terhadap keselamatan penerbangan, sementara 39,2% sisanya dipengaruhi oleh faktor-faktor operasional lain di luar model penelitian.

Pembahasan

Temuan bahwa iluminansi rata-rata di *Parking Stand* 1 hingga 4 secara konsisten berada di bawah standar minimal 20 Lux memperkuat pola yang telah dilaporkan pada sejumlah bandar udara lain di Indonesia. Amir (2023) dan Pamungkas (2021) menemukan kondisi serupa di Bandar Udara Internasional Jenderal Ahmad Yani Semarang, dengan nilai iluminansi apron yang juga berada di bawah standar ICAO Annex 14 akibat degradasi lampu halogen yang telah melampaui masa pakai efektifnya. Fenomena penurunan kinerja lampu seiring bertambahnya usia pakai ini secara teknis dijelaskan melalui konsep maintenance factor sebagaimana diuraikan dalam CIE 154:2003 (Commission Internationale de l'Éclairage, 2003), yang menegaskan bahwa keluaran cahaya suatu instalasi penerangan luar ruang menurun secara progresif akibat penyusutan fluks lampu, penurunan faktor keberlangsungan (survival factor), serta akumulasi kotoran pada permukaan armatur. Prinsip ini relevan untuk menjelaskan mengapa nilai iluminansi pada *Parking Stand* 2, 3, dan 4 di Bandar Udara Karel Sadsuitubun jauh lebih rendah dibandingkan nilai desain awalnya, terlebih karena belum tersedia jadwal pemeliharaan preventif yang terstruktur maupun cadangan lampu yang memadai.

Kesenjangan iluminansi yang paling menonjol terjadi pada *Parking Stand* 3 dan 4, yang sama sekali tidak memiliki tiang *floodlight* mandiri. Kondisi ini berbeda dari temuan pada bandar udara kelas menengah-besar seperti pada penelitian Mahendro (2023) di Terminal 1 Bandar Udara Internasional Soekarno-Hatta maupun Suprihartini (2019) di apron selatan Bandar Udara Internasional I Gusti Ngurah Rai Bali, yang meskipun juga melaporkan tantangan pencahayaannya, umumnya telah memiliki cakupan tiang *floodlight* yang relatif merata di seluruh titik parkir pesawat. Perbedaan ini menegaskan bahwa keterbatasan infrastruktur dasar, bukan semata degradasi lampu, menjadi determinan tambahan yang memperparah persoalan pencahayaannya pada bandar udara perintis dengan sumber daya terbatas seperti Bandar Udara Karel Sadsuitubun. Rendahnya iluminansi pada titik-titik kritis tersebut memiliki implikasi langsung terhadap keselamatan operasional darat. Area remang-remang (dark spot) yang terbentuk akibat kurangnya cahaya menyulitkan pelaksanaan walk-around inspection oleh awak pesawat maupun personel teknis, serta meningkatkan risiko pergerakan kendaraan *Ground Support Equipment* (GSE) yang tidak terpantau dengan baik. Sutawati dan Simanjuntak (2023) serta Syafitri, Saleh, dan Russeng (2022) dalam kajian identifikasi dan penilaian risiko

di area apron menegaskan bahwa keterbatasan visibilitas dan pengawasan visual merupakan salah satu sumber bahaya operasional utama di sisi udara, sejalan dengan kondisi yang ditemukan pada penelitian ini. Nilai koefisien determinasi (R^2) sebesar 60,8% yang diperoleh dalam penelitian ini juga berada pada rentang yang sebanding dengan temuan Mahendro (2023), yang turut membuktikan pengaruh positif dan signifikan antara intensitas cahaya apron floodlight dan keselamatan penerbangan, sehingga memperkuat generalisasi bahwa keandalan pencahayaan apron merupakan determinan keselamatan yang konsisten lintas bandar udara, terlepas dari skala maupun lokasi geografisnya.

Dari sisi solusi teknis, migrasi dari lampu halogen ke lampu LED sebagaimana diterapkan oleh Taryana dan Soebiantoro (2020) di Bandar Udara Adi Soemarmo terbukti mampu menghasilkan keseragaman iluminansi yang lebih baik dibandingkan teknologi konvensional, sekaligus menurunkan konsumsi energi secara signifikan sebagaimana dianalisis oleh Yasa (2021) dalam kajian efisiensi kelistrikan sistem tata cahaya apron floodlight. Rekomendasi ini juga sejalan dengan pedoman teknis internasional, baik ICAO Doc 9157 Part 4 tentang perancangan dan pemasangan alat bantu visual bandar udara (International Civil Aviation Organization, 2021) maupun *Federal Aviation Administration* (2018) dalam *Advisory Circular* 150/5340-30J, yang keduanya menekankan pentingnya kesesuaian desain armatur, sudut sorot, dan interval pemeliharaan dalam menjaga keandalan sistem penerangan sisi udara sepanjang siklus operasionalnya. Dengan demikian, perbaikan infrastruktur penerangan apron di Bandar Udara Karel Sadsuitubun sepatutnya tidak dipandang semata sebagai upaya pemenuhan kepatuhan regulatif terhadap PR 21 Tahun 2023, melainkan sebagai investasi langsung dalam mitigasi risiko keselamatan penerbangan pada bandar udara perintis dengan karakteristik operasi malam hari yang tidak terjadwal.

KESIMPULAN

Penelitian ini menunjukkan bahwa kuat penerangan aktual sistem apron floodlight berbasis lampu halogen di Parking Stand 1 sampai dengan 4 Bandar Udara Karel Sadsuitubun saat ini berkisar antara 2,00 hingga 14,25 Lux, yang secara nyata belum memenuhi standar minimal regulasi Peraturan Direktur Jenderal Perhubungan Udara Nomor PR 21 Tahun 2023 sebesar 20 Lux, dengan kondisi paling kritis ditemukan pada Parking Stand 3 dan 4 (2,00–3,50 Lux) karena belum memiliki tiang floodlight mandiri, sementara Area Transisi Terminal justru telah melampaui standar minimalnya. Pengujian statistik inferensial turut membuktikan bahwa keandalan sistem apron floodlight berpengaruh positif dan signifikan terhadap keselamatan operasional penerbangan, dengan nilai t -hitung (8,039) lebih besar dari t -tabel (2,021) dan tingkat kontribusi pengaruh (R^2) sebesar 60,8%, sehingga penurunan intensitas cahaya dapat dipastikan berdampak langsung terhadap keterbatasan visibilitas petugas saat walk-around inspection, meningkatnya risiko keselamatan pergerakan GSE, dan menurunnya ketepatan proses parkir pesawat. Berdasarkan temuan tersebut, pengelola bandar udara disarankan untuk segera meningkatkan prosedur pemeliharaan preventif melalui pembersihan rutin kaca armatur, penyesuaian sudut sorot (*aiming angle*), dan penyediaan stok lampu cadangan yang memadai, serta mempertimbangkan migrasi teknologi lampu halogen ke lampu LED hemat energi guna mencapai tingkat iluminansi di atas 20 Lux secara lebih efisien dan konsisten, dengan memprioritaskan pembangunan menara high mast floodlight mandiri baru khusus di Parking Stand 3 dan 4 agar tidak lagi bergantung pada limpahan cahaya dari tiang lain.

Bagi penelitian selanjutnya, disarankan untuk memperluas cakupan variabel dengan mempertimbangkan faktor cuaca ekstrem, jarak antar-tiang floodlight, serta biaya siklus hidup (*life cycle cost*) migrasi teknologi LED, sekaligus melakukan studi longitudinal guna mengevaluasi konsistensi keandalan sistem penerangan pasca-perbaikan. Secara keseluruhan,

hasil penelitian ini mengonfirmasi bahwa keandalan infrastruktur penerangan apron bukan hanya persoalan kepatuhan terhadap regulasi teknis, melainkan faktor determinan yang berkontribusi nyata terhadap mitigasi risiko keselamatan penerbangan pada bandar udara dengan karakteristik operasi malam hari yang tidak terjadwal, seperti Bandar Udara Karel Sadsuitubun.

DAFTAR PUSTAKA

- Amir, B. F. (2023). *Evaluasi kuat pencahayaan apron floodlight di Bandar Udara Internasional Jenderal Ahmad Yani Semarang* [Karya tulis ilmiah, Sekolah Tinggi Penerbangan Indonesia].
- Commission Internationale de l'Éclairage. (2003). *CIE 154:2003 — The maintenance of outdoor lighting systems*. CIE.
- Federal Aviation Administration. (2018). *Advisory Circular 150/5340-30J: Design and installation details for airport visual aids*. U.S. Department of Transportation.
- Ghozali, I. (2021). *Aplikasi analisis multivariate dengan program IBM SPSS 26*. Badan Penerbit Universitas Diponegoro.
- International Civil Aviation Organization. (2021). *Aerodrome design manual, Part 4: Visual aids* (Doc 9157, 5th ed.). ICAO.
- International Civil Aviation Organization. (2022). *Aerodromes: Aerodrome design and operations* (Annex 14, Vol. I, 9th ed.). ICAO.
- Kementerian Perhubungan Republik Indonesia. (2009). *Undang-Undang Republik Indonesia Nomor 1 Tahun 2009 tentang Penerbangan*.
- Kementerian Perhubungan Republik Indonesia. (2022). *Peraturan Direktur Jenderal Perhubungan Udara Nomor PR 08 Tahun 2022 tentang Pedoman Teknis Operasional PKPS Bagian 139-26 Visual Aids*. DJPU.
- Kementerian Perhubungan Republik Indonesia. (2023). *Peraturan Direktur Jenderal Perhubungan Udara Nomor PR 21 Tahun 2023 tentang Standar Teknis dan Operasi PKPS Bagian 139 Volume I Aerodrome Daratan*. DJPU.
- Mahendro, J. (2023). Pengaruh apron floodlight terhadap keselamatan penerbangan Terminal 1 Bandar Udara Internasional Soekarno-Hatta. *Jurnal Manajemen Dirgantara*, 16(1), 45–52.
- Nugraha, B. (2022). *Pengembangan uji statistik: Implementasi metode regresi linier berganda dengan pertimbangan uji asumsi klasik*. Pradina Pustaka.
- Pamungkas, H. R. (2021). *Analisa kelayakan sistem pencahayaan apron floodlight di Bandara Internasional Jenderal Ahmad Yani Semarang* [Tugas akhir, Universitas Semarang].
- Riduwan. (2021). *Skala pengukuran variabel-variabel penelitian*. Alfabeta.
- Santoso, S. (2021). *Statistik parametrik: Konsep dan aplikasi dengan SPSS*. Elex Media Komputindo.
- Sugiyono. (2022). *Metode penelitian kuantitatif, kualitatif dan R&D*. Alfabeta.
- Suprihartini, Y. (2019). Kajian pencahayaan flood light di apron selatan Bandar Udara Internasional I Gusti Ngurah Rai Bali. *Jurnal Ilmiah Aviasi Langit Biru*, 12(2), 143–148.
- Sutarwati, S., & Simanjuntak, L. A. (2023). Implementasi peraturan keamanan dan keselamatan penerbangan terkait manajemen bahaya hewan liar di Bandar Udara Internasional Hang Nadim Batam. *Jurnal Manajemen Dirgantara*, 16(1), 154–164.
- Syafitri, N. M., Saleh, L. M., & Russeng, S. S. (2022). Penilaian bahaya risiko di area apron Bandara Internasional Sultan Hasanuddin Makassar. *Prosiding Nasional FORIKES*, 3, 28–32.
- Taryana, Y., & Soebiantoro, R. (2020). Analisa apron floodlight menggunakan lampu LED di Bandar Udara Adi Soemarmo - Solo. *Jurnal Ilmiah Aviasi Langit Biru*, 13(1), 69–78.



Yasa, I. W. S. (2021). Analisis konsumsi energi untuk efisiensi kelistrikan pada penggunaan sistem tata cahaya apron flood light bandar udara. *Jurnal Kajian Teknik Elektro*, 6(2), 54–61.