INSOLOGI: Jurnal Sains dan Teknologi
https://journal.literasisains.id/index.php/INSOLOGI
ISSN 2828-4984 (Media Online) | ISSN 2828-4992 (Media Cetak)
Vol. 5 No. 5 (Oktober 2026) 1924-1936
DOI: 10.55123/insologi.v5i5.9496
Submitted: xx-xx-2022 | Accepted: xx-xx-2022 | Published: xx-xx-2022

Studi Kelayakan Pengadaan dan Pemasangan Apron Floodlight LED di Terminal 3 Bandara Internasional Soekarno-Hatta

Rico Pratama[1], Syamsir Abduh[2], Agus Indarto[3]
[1,2,3]Sekolah Pascasarjana Institut Teknologi PLN, Jakarta, Indonesia
Email: [1]ricopratama.visualaid@gmail.com, [2]syamsir@itpln.ac.id, [3]agus.indarto@itpln.ac.id

Abstract

Terminal 3 of Soekarno-Hatta International Airport requires a reliable apron lighting system to support safe and smooth operations under low-light conditions. The existing conventional lighting system has relatively high power consumption, limited spare-part availability, and declining reliability, creating the need for a feasibility assessment before replacement with LED technology. This study aims to assess the technical and financial feasibility of procuring and installing LED apron floodlights and to compare their operational benefits and electricity costs with the existing system. The study employed a descriptive quantitative approach using field observations, interviews, documentation, literature review, and secondary data. Technical feasibility was assessed through specification comparisons and conformity with apron lighting requirements, while financial feasibility was evaluated using Net Present Value (NPV), Internal Rate of Return (IRR), and Payback Period. The results show that the FL-500W LED has a power rating of 500 W per unit, a light output of 82,500 lm, a service life of up to 100,000 hours, and flexible CCT, beam-angle, and dimming options. Replacing 355 existing units with LED reduces annual energy consumption by 715,254 kWh, equivalent to 47.91%, and provides estimated annual electricity savings of Rp797,322,243.96. With an investment of Rp4.97 billion, an 11-year economic life, and a 10% discount rate, the project produces an NPV of Rp208,656,615.31, an IRR of 10.90%, and a Payback Period of 6.23 years. These results indicate that replacing the existing apron floodlights with LED technology is technically and financially feasible and has the potential to improve airport operational efficiency.

Keywords: *Apron Floodlight; Energy Efficiency; Financial Feasibility; LED; Technical Feasibility.*

Abstrak

Terminal 3 Bandara Internasional Soekarno-Hatta membutuhkan sistem penerangan apron yang andal untuk mendukung keselamatan dan kelancaran operasional pada kondisi minim cahaya. Sistem eksisting berbasis lampu konvensional memiliki kebutuhan daya yang relatif tinggi, keterbatasan suku cadang, dan penurunan keandalan, sehingga diperlukan kajian kelayakan sebelum dilakukan p enggantian dengan teknologi LED. Penelitian ini bertujuan menganalisis kelayakan pengadaan dan pemasangan apron floodlight LED dari aspek teknis dan finansial serta membandingkan manfaat dan biaya listrik terhadap sistem eksisting. Penelitian menggunakan pendekatan kuantitatif deskriptif dengan pengumpulan data melalui observasi lapangan, wawancara, dokumentasi, studi literatur, dan data sekunder. Analisis teknis dilakukan melalui perbandingan spesifikasi dan kesesuaian terhadap kebutuhan pencahayaan apron, sedangkan analisis finansial menggunakan Net Present Value (NPV), Internal Rate of Return (IRR), dan Payback Period. Hasil penelitian menunjukkan bahwa LED FL-500W memiliki daya 500 W per unit, output cahaya 82.500 lm, masa pakai hingga 100.000 jam, serta fleksibilitas CCT, beam angle, dan dimming. Penggunaan 355 unit LED menurunkan konsumsi energi sebesar 715.254 kWh per tahun atau 47,91%, dengan penghematan biaya listrik sekitar Rp797.322.243,96 per tahun. Dengan investasi Rp4,97 miliar, umur ekonomis 11 tahun, dan discount rate 10%, diperoleh NPV Rp208.656.615,31, IRR 10,90%, dan Payback Period 6,23 tahun. Hasil tersebut menunjukkan bahwa penggantian apron floodlight LED layak secara teknis dan finansial serta berpotensi meningkatkan efisiensi operasional bandara

Kata Kunci: Apron Floodlight; Efisiensi Energi; Kelayakan Finansial; Kelayakan Teknis; LED.

Lisensi: Creative Commons Attribution 4.0 International (CC BY 4.0)

1. PENDAHULUAN

Keandalan infrastruktur sisi udara (airside) merupakan determinan utama dalam menjamin kelancaran operasional bandar udara internasional, khususnya pada area pergerakan pesawat dan pelayanan darat. Sistem penerangan pelataran pesawat (apron floodlight) memegang peranan krusial dalam memfasilitasi keselamatan pergerakan armada pesawat, kendaraan pemandu teknis (ground support equipment), serta personel operasional pada malam hari dan periode jarak pandang terbatas (Purba & Hidayat, 2022). Standar keselamatan penerbangan internasional secara tegas mewajibkan ketersediaan sistem pencahayaan apron yang memadai guna meminimalkan risiko kecelakaan kerja dan insiden operasional di area sisi udara (International Civil Aviation Organization, 2016). Seiring dengan proyeksi peningkatan pergerakan lalu lintas udara dan tuntutan efisiensi operasional bandara modern, modernisasi fasilitas pendukung di Terminal 3 Bandara Internasional Soekarno-Hatta menjadi prioritas strategis dalam menjaga keandalan layanan (Anggelina & Naipospos, 2023; Hanantyo & Susanto, 2022).

Meskipun Terminal 3 melayani operasi penerbangan selama 24 jam secara berkelanjutan, sistem tata cahaya apron eksisting masih mengandalkan teknologi konvensional berupa lampu High-Pressure Sodium (HPS) dan Metal Halide berdaya 1.000 Watt per unit. Penggunaan teknologi lampu pelepasan gas (gas-discharge lamps) ini memiliki sejumlah kelemahan substansial, antara lain efikasi cahaya yang rendah, konsumsi energi listrik yang tinggi, serta tingkat depresiasi fluks cahaya (lumen depreciation) yang cepat (Pratama et al., 2022; Yasa, 2022). Lebih lanjut, degradasi fisik pada armatur eksisting, penipisan tahanan isolasi kabel daya, serta keterbatasan rantai pasok suku cadang konvensional di pasar global berpotensi menurunkan tingkat iluminasi di bawah batas minimum yang ditetapkan dalam Peraturan Direktur Jenderal Perhubungan Udara Nomor PR 21 Tahun 2023 (International Civil Aviation Organization, 2016). Konsekuensinya, tindakan peremajaan sistem melalui penggantian (retrofitting) menjadi langkah teknis yang mendesak guna mengembalikan keandalan pencahayaan serta mengeliminasi potensi gangguan operasional sisi udara.

Penerapan teknologi Light Emitting Diode (LED) menawarkan alternatif solusi superior dengan karakteristik efikasi luminous tinggi, masa pakai peralatan yang panjang, sudut distribusi cahaya yang presisi, serta kompatibilitas terhadap sistem kendali pintar (smart lighting control system) (Ali & Isa, 2023; Raharjo et al., 2021). Di samping keunggulan operasional, reduksi beban daya listrik melalui adopsi LED berkorelasi langsung dengan pemangkasan emisi gas rumah kaca, selaras dengan kerangka kebijakan Eco-Airport dan target dekarbonisasi industri aviasi nasional (Falchi & Haim, 2022; Sari & Octaviani, 2023). Kendati demikian, implementasi proyek penggantian sistem pencahayaan berskala besar membutuhkan justifikasi kelayakan investasi yang terukur sebelum dialokasikan sebagai belanja modal (capital expenditure) oleh pengelola bandara (Nurlita et al., 2021).

Kajian literatur menunjukkan bahwa penelitian terdahulu mengenai retrofitting pencahayaan bandar udara cenderung terfokus secara sempit pada aspek teknis-fotometrik, distribusi kuat pencahayaan (illuminance), atau rekayasa instalasi fisik semata (Pratama, 2023; Pratama et al., 2022; Sandi et al., 2025). Studi-studi tersebut kerap mengabaikan integrasi parameter teknis dengan evaluasi kelayakan finansial kuantitatif jangka panjang serta analisis sensitivitas risiko investasi (Chen, 2025; Savvides, 2024; Uyan et al., 2023). Ketiadaan kerangka evaluasi terpadu ini memicu ketidakpastian manajerial dalam mengestimasi periode pemulihan modal dan profitabilitas investasi konservasi energi.

Lisensi: Creative Commons Attribution 4.0 International (CC BY 4.0)

Nilai kebaruan (novelty) dari penelitian ini terletak pada integrasi model analisis kelayakan multi-kriteria yang menghubungkan evaluasi performa teknis fotometrik lampu LED dengan formulasi penganggaran modal kuantitatif (capital budgeting) meliputi Net Present Value (NPV), Internal Rate of Return (IRR), dan Payback Period (PP) serta estimasi reduksi jejak karbon secara simultan pada terminal bandar udara internasional aktif. Melalui pendekatan komprehensif ini, penelitian tidak hanya menguji kepatuhan teknis sistem pencahayaan terhadap standar regulasi Annex 14 ICAO, melainkan juga membuktikan rasionalitas finansial dan kelayakan ekonomi jangka panjang. Berdasarkan latar belakang tersebut, penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi kelayakan teknis, finansial, dan keberlanjutan lingkungan dari implementasi sistem apron floodlight LED di Terminal 3 Bandara Internasional Soekarno-Hatta sebagai rujukan ilmiah dan rekomendasi strategis pengambilan keputusan investasi bagi PT Angkasa Pra Indonesia

2. METODOLOGI PENELITIAN

2.1 Waktu dan Lokasi Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan di Terminal 3 Bandara Internasional Soekarno-Hatta yang berlokasi di Pajang, Benda, Kota Tangerang, Banten (koordinat geografis 6°07'13" LS dan 106°39'36" BT). Durasi pelaksanaan penelitian berlangsung selama 90 hari kalender, terhitung sejak tanggal 3 Mei 2026 hingga 1 Agustus 2026.

2.2 Pendekatan dan Pengumpulan Data

Penelitian ini menerapkan pendekatan kuantitatif deskriptif komparatif untuk mengevaluasi kelayakan teknis, finansial, dan operasional transisi teknologi dari sistem lampu konvensional eksisting (High-Pressure Sodium/Metal Halide) menuju Light Emitting Diode (LED). Data dihimpun melalui kombinasi metode primer dan sekunder yang mencakup beberapa teknik pengumpulan berikut.

1. Wawancara Terstruktur. Dilakukan bersama unit pengelola fasilitas kelistrikan sisi udara (airside electrical engineering) dan unit perencana keuangan (capital expenditure management) PT Angkasa Pura Indonesia.
2. Observasi Lapangan Non partisipatif. Pengukuran langsung terhadap parameter fisik armatur pencahayaan, pencatatan tahanan isolasi kabel daya, serta pengamatan kontinuitas operasional menara penerangan (high mast).
3. Studi Dokumentasi dan Data Sekunder. Penelusuran dokumen riwayat pemeliharaan berkala, pencatatan logistik suku cadang, spesifikasi teknis pabrikan (datasheet luminer), regulasi standar keselamatan penerbangan (ICAO Annex 14 dan Peraturan Dirjen Perhubungan Udara Nomor PR 21 Tahun 2023), serta data tarif dasar listrik industri yang berlaku.

2.3 Kerangka Alur Penelitian

Tahapan analisis dijalankan secara sistematis melalui urutan kerja berikut:

1. Tahap Inisiasi
   Identifikasi batasan masalah teknis dan regulasi keselamatan fasilitas sisi udara.
2. Tahap Pengumpulan Data
   Klasifikasi data ke dalam variabel teknis eksisting vs. LED (konsumsi daya watt, lumen, umur pakai, fotometrik), variabel biaya modal investasi (CapEx), variabel pemeliharaan (OpEx), serta data operasional jam nyala bandara.
3. Tahap Pemrosesan dan Kajian

Lisensi: Creative Commons Attribution 4.0 International (CC BY 4.0)

Melakukan sintesis teoritis dan uji empiris komparasi konsumsi energi listrik per tahun.

4. Tahap Pengujian Kelayakan Finansial
   Evaluasi parameter investasi berdasarkan kriteria kelayakan eksplisit.
5. Tahap Pengambilan Keputusan dan Rekomendasi
   Apabila kriteria kelayakan terpenuhi, sistem direkomendasikan untuk diimplementasikan; apabila tidak terpenuhi, dilakukan rekalkulasi alternatif skenario teknis.

a. **Net Present Value (NPV)** adalah selisih antara nilai sekarang dari arus kas masuk atau penghematan biaya operasional yang diperoleh di masa depan dengan nilai investasi awal yang dikeluarkan pada awal proyek. Dalam penelitian ini, proyek transisi teknologi lampu penerangan menuju LED dinyatakan layak secara finansial apabila nilai NPV yang dihasilkan lebih besar dari nol atau bernilai positif, yang menandakan bahwa investasi tersebut mampu memberikan keuntungan bersih setelah memperhitungkan tingkat diskonto selama periode analisis, rumusnya sebagai berikut:

$$NPV = \sum_{t}^{n} \frac{CF_t}{(1+r)^t} - I_0 \quad (1)$$

b. **Internal Rate of Return (IRR)**. Internal Rate of Return (IRR) adalah tingkat diskonto yang menyebabkan nilai Net Present Value (NPV) proyek sama dengan nol, menunjukkan tingkat pengembalian investasi yang dihasilkan oleh proyek itu sendiri. IRR digunakan sebagai indikator yang melengkapi NPV untuk menilai kelayakan investasi, dan kriteria proyek dinyatakan layak apabila nilai IRR lebih besar daripada tingkat diskonto (diskon) yang diminta. Sebagai berikut, perhitungan Internal Rate of Return (IRR) dibuat:

$$0 = -I_0 + \sum_{t}^{n} \frac{CF_t}{(1+IRR)^t} \quad (2)$$

c. **Payback Period**. Payback Period adalah waktu yang dibutuhkan agar investasi awal proyek dapat kembali (atau dikembalikan) dari arus kas bersih yang dihasilkan. Untuk mengevaluasi tingkat likuiditas dan risiko pengembalian modal, kriteria proyek dianggap layak jika jangka waktu pengembalian modalnya lebih singkat daripada umur ekonomis proyek. Berikut ini adalah cara menghitung waktu payback:

$$Payback\ Period = \frac{Investasi\ awal\ proyek}{Arus\ kas\ bersih\ tahunan\ proyek}$$

2.4 Analisis Kelayakan
Gambaran Umum Objek Studi

Mengacu pada ketentuan regulasi dalam Dokumen Annex 14 Volume I International Civil Aviation Organization (ICAO): Standar untuk Perancangan dan Operasi Aerodrome, operator bandar udara diharuskan untuk mempertahankan kelayakan

Lisensi: Creative Commons Attribution 4.0 International (CC BY 4.0)

operasional (tingkat kemampuan layanan), yang mencakup seluruh sistem pencahayaan yang memberikan operasi yang aman seperti Apron Floodlighting berdasarkan Peraturan Direktur Jenderal Perhubungan Udara Nomor PR 21 Tahun 2023. Hasil evaluasi teknis pemasangan Apron floodlight di Terminal 3 Bandar Udara Internasional Soekarno-Hatta menunjukkan bahwa kinerjanya telah menurun dan tingkat keandalannya rendah, sebagaimana dijelaskan di bawah ini:

1. Sistem apron floodlight eksisting telah beroperasi sejak tahun 2016. Dengan usia operasi tersebut, beberapa komponen sistem secara bertahap telah mendekati, bahkan berpotensi melewati, batas umur teknis operasionalnya.
2. Sistem pencahayaan di Terminal 3 masih menggunakan teknologi konvensional, yaitu lampu High-Pressure Sodium (HPS) dan/atau Metal Halide. Setiap luminer memiliki konsumsi daya sebesar 1.000 Watt, sehingga penggunaan energi untuk sistem pencahayaan relatif tinggi.
3. Ketersediaan suku cadang, seperti lampu dan ballast magnetik, juga semakin terbatas di pasaran. Kondisi ini berkaitan dengan semakin luasnya penggunaan teknologi Light Emitting Diode (LED) yang mendorong pergeseran industri pencahayaan dari teknologi konvensional ke teknologi yang lebih efisien.
4. Pada beberapa titik ditemukan kerusakan fisik pada instalasi dan fixture lampu. Kondisi tersebut dapat menyebabkan penurunan fluks cahaya (lumen depreciation), sehingga tingkat pencahayaan yang dihasilkan berpotensi menurun dan tidak lagi memenuhi tingkat iluminasi (illuminance level) minimum yang dipersyaratkan untuk area apron.
5. Hasil pengukuran pada beberapa kabel daya menunjukkan bahwa nilai tahanan isolasi (insulation resistance) telah berada di bawah batas minimum yang dipersyaratkan, yaitu kurang dari 5,0 MΩ. Kondisi ini menunjukkan adanya penurunan kualitas isolasi kabel yang dapat meningkatkan risiko terjadinya hubung singkat (short circuit) dan gangguan pada sistem proteksi. Apabila tidak segera ditangani, kondisi tersebut dapat mengganggu keandalan sistem pencahayaan dan berpotensi memengaruhi keselamatan operasional di sisi udara (airside).

Dengan meningkatnya kompleksitas operasional di area sisi udara (airside), khususnya di Apron Terminal 3 Bandara Internasional Soekarno-Hatta, membangun sistem pengendalian dan pemantauan cahaya (LCMS) yang terintegrasi menjadi keharusan teknis. Melalui kemampuan untuk memantau secara real-time, diagnosis gangguan otomatis (fault diagnostics), dan kendali operasional jarak jauh (remote switching), sistem ini dirancang untuk mengoptimalkan prosedur operasional dan perawatan (O&M). Selain menjadi alat penting untuk membangun ekosistem Smart Airport di sekitar PT Angkasa Pura Indonesia, integrasi sistem otomasi ini akan mengurangi waktu tanggap terhadap anomali teknis. Arsitektur kendali terpusat memungkinkan manajemen iluminasi apron yang tepat dan fleksibel, seperti menggunakan skenario peredupan yang disesuaikan dengan fluktuasi trafik penerbangan, yang secara langsung mengamplifikasi tingkat efisiensi energi. Secara keseluruhan, transformasi digital ini sangat sesuai dengan komitmen strategis perusahaan terhadap konservasi energi dan tata kelola infrastruktur yang berkelanjutan (sustainability).

Sangat penting untuk meremajakan sistem pencahayaan secara menyeluruh, atau retrofitting, mengingat penurunan kondisi teknis dan tuntutan operasional yang terus meningkat. Oleh karena itu, perlu dibuat "Studi Kelayakan Pengadaan dan Pemasangan Apron Floodlight LED di Terminal 3 Bandara Internasional Soekarno-Hatta" sebagai

Lisensi: Creative Commons Attribution 4.0 International (CC BY 4.0)

landasan analitis dan strategis untuk:

1. Mengevaluasi dan memastikan bahwa standar tingkat keselamatan dan keandalan operasional sisi udara (airside) tetap komplan dengan Standards and Recommended Practices (SARPs) yang tercantum dalam Annex 14 ICAO dan peraturan yang ditetapkan oleh Direktorat Jenderal Perhubungan Udara.
2. Menjelaskan secara objektif solusi teknis untuk mengatasi kerusakan dan keterbatasan instrumen eksisting yang telah menurunkan efisiensi.
3. Mengukur jumlah peningkatan efisiensi energi (efisiensi energi) dan ekstensi umur teknis peralatan (umur hidup peralatan) melalui transisi ke teknologi Light Emitting Diode (LED).
4. Mengkaji dampak integrasi sistem baru ke gagasan Eco-Airport untuk mendukung citra Bandara Intern.
6. Membangun strategi untuk mengintegrasikan sistem pengendalian cahaya pintar (SLCS) yang terotomatisasi dan terpusat dengan sistem pengendalian cahaya pintar untuk meningkatkan kelancaran operasional penerbangan sisi udara.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pembahasan Hasil Analisis Kelayakan

Sintesis Hasil Kelayakan Antar Aspek.

Hasil analisis aspek teknis dan finansial menunjukkan bahwa penggantian sistem apron floodlight yang ada dengan teknologi LED FL-500W menunjukkan bahwa kedua aspek tersebut saling menguntungkan. Dalam hal teknis, LED menawarkan banyak keuntungan. Mereka mengurangi daya per unit dari 960 W menjadi 500 W, daya terpasang total dari 340,80 kW menjadi 177,50 kW, dan masa pakai hingga L70 100.000 jam. Selain itu, mereka memungkinkan Anda mengatur pencahayaan dengan lebih fleksibel melalui pilihan CCT, sudut beam, dan sistem dimming. Keunggulan teknis ini berdampak langsung pada aspek operasional karena mengurangi konsumsi energi listrik dari 1.492.704 kilowatt-jam per tahun menjadi 777.450 kilowatt-jam per tahun, atau penghematan sebesar 715.254 kilowatt-jam per tahun (47,91%). Dengan demikian, penghematan biaya listrik diperkirakan mencapai Rp797.322.243,96 per tahun.

Dari perspektif finansial, dalam skenario di mana harga investasi setiap unit sebesar Rp14.000.000 untuk 355 unit, total investasi awal sebesar Rp4.970.000.000 menghasilkan nilai sekarang manfaat investasi sebesar Rp208.656.615,31, tingkat diskonto internal sebesar 10,90%, dan jangka waktu pengembalian sebesar 6,23 tahun. Nilai NPV yang positif menunjukkan bahwa nilai sekarang manfaat investasi lebih besar daripada investasi awal, sedangkan IRR yang lebih tinggi daripada tingkat diskonto 10% menunjukkan bahwa Selain itu, jangka waktu pembayaran kembali 6,23 tahun masih lebih pendek daripada jangka waktu ekonomis proyek yang mencapai 11 tahun. Oleh karena itu, hasil teknis dan finansial menunjukkan arah yang konsisten: teknologi LED meningkatkan efisiensi dan kinerja sistem pencahayaan dan menghemat uang secukupnya untuk penggantian sistem yang ada.

Untuk menunjukkan hubungan antara temuan teknis, dampak operasional, dan hasil kelayakan finansial, rangkuman dari komponen tersebut diberikan di Tabel 5.1.

Lisensi: Creative Commons Attribution 4.0 International (CC BY 4.0)

Tabel 5.1 Sintesis Hasil Kelayakan Penggantian Apron Floodlight dengan Teknologi LED

Aspek	Indikator/Hasil	Temuan	Kesimpulan
Teknis – Efisiensi daya	Daya 960 W/unit → 500 W/unit	Terjadi pengurangan 460 W/unit atau ±47,92%. Total daya terpasang turun dari 340,80 kW menjadi 177,50 kW.	Layak / unggul
Teknis – Efisiensi energi	1.492.704 → 777.450 kWh/tahun	Penghematan energi sebesar 715.254 kWh/tahun atau 47,91%.	Layak / unggul
Teknis – Kinerja pencahayaan	82.500 lm; ≈165 lm/W	LED menghasilkan output cahaya tinggi pada daya 500 W berdasarkan data produk yang digunakan.	Layak / unggul
Teknis – Umur layanan	L70 100.000 jam	Mendukung pengurangan frekuensi penggantian dan potensi downtime pemeliharaan.	Layak / unggul
Teknis – Fleksibilitas	CCT 3000–6500 K; beam angle 30°/60°/90°; dimming 0–10 V/DALI	LED memberikan fleksibilitas pengaturan pencahayaan yang lebih tinggi.	Layak / unggul
Operasional – Biaya energi	Rp1.663.976.856,96 → Rp866.654.613,00/tahun	Penghematan biaya listrik diperkirakan Rp797.322.243,96 per tahun.	Menguntungkan
Finansial – Investasi awal	355 × Rp14 juta = Rp4,97 miliar	Memerlukan investasi awal yang relatif besar, tetapi menghasilkan manfaat operasional tahunan.	Dapat diterima pada skenario
Finansial – NPV	+Rp208.656.615,31	NPV > 0 pada discount rate 10%.	Layak
Finansial – IRR	10,90%	IRR > discount rate 10%.	Layak
Finansial – Payback Period	6,23 tahun	Payback Period < umur ekonomis 11 tahun.	Layak
Sintesis antar-aspek	Teknis + operasional + finansial	Keunggulan teknis LED menghasilkan penghematan energi dan biaya yang kemudian mendukung kelayakan finansial investasi.	Direkomendasikan

Secara keseluruhan, analisis hasil kelayakan menunjukkan bahwa pengganti apron floodlight yang ada dengan teknologi LED FL-500W adalah layak dari segi teknis dan finansial. Manfaat operasional yang dapat diukur berasal dari keuntungan teknis seperti efisiensi daya, penghematan energi, umur layanan yang lebih panjang, dan fleksibilitas pengendalian pencahayaan. Sumber utama arus kas dalam analisis finansial adalah manfaat penghematan biaya listrik sebesar sekitar Rp797,32 juta per tahun. Indikator NPV, IRR, dan Payback Period semuanya memenuhi kriteria kelayakan dalam skenario investasi Rp4,97 miliar. Akibatnya, temuan penelitian memberikan dasar yang kuat untuk teknologi LED untuk dipertimbangkan sebagai alternatif untuk menggantikan sistem apron floodlight yang ada saat ini.

Lisensi: Creative Commons Attribution 4.0 International (CC BY 4.0)

Perbandingan dengan Penelitian Terdahulu

Hasil dari Systematic Literature Review (SLR) melengkapi dan memperluas temuan penelitian sebelumnya. Matriks SLR menunjukkan bahwa penelitian sebelumnya mengenai penerapan LED pada sistem pencahayaan bandar udara biasanya berfokus pada faktor-faktor tertentu, seperti intensitas pencahayaan, efisiensi energi, emisi karbon, desain teknis, sistem kendali, atau analisis ekonomi. Studi ini mengintegrasikan elemen teknis dan finansial dalam evaluasi rencana pengadaan dan pemasangan apron floodlight LED di Terminal 3 Bandara Internasional Soekarno-Hatta.

Dari sudut pandang teknis, penelitian ini membandingkan sistem pencahayaan saat ini dengan teknologi dioda listrik dan mengevaluasi seberapa sesuai keduanya dengan kebutuhan pencahayaan apron. Dari perspektif finansial, kelayakan investasi dinilai dengan menggunakan Net Present Value (NPV), Internal Rate of Return (IRR), dan Payback Period. Kombinasi kedua elemen ini memungkinkan keputusan investasi didasarkan pada manfaat ekonomi selain kinerja dan kelayakan teknis sistem pencahayaan.

Hasil SLR menunjukkan bahwa beberapa penelitian sebelumnya telah menemukan bahwa teknologi LED lebih efisien daripada teknologi konvensional dalam hal efisiensi energi dan kinerja pencahayaan. Studi yang memeriksa penerapan LED pada sistem pencahayaan bandar udara, termasuk runway, taxiway, dan apron, menunjukkan temuan tersebut [8], [9], [11], [13], [15]. Studi lain menunjukkan bahwa penerapan LED pada sistem pencahayaan apron floodlight dapat memenuhi persyaratan pencahayaan sesuai dengan Annex 14 ICAO, tetapi belum membahas aspek biaya dan investasi secara menyeluruh [12].Selanjutnya, penelitian ini melakukan studi kelayakan pengadaan dan pemasangan apron floodlight LED di Terminal 3 Bandara Internasional Soekarno-Hatta. Hasilnya menghasilkan temuan ini. Aspek teknis dievaluasi dengan membandingkan sistem pencahayaan saat ini dengan teknologi LED dan mengevaluasi kesesuaiannya dengan persyaratan pencahayaan apron. Selain itu, elemen finansial dianalisis dengan menggunakan NPV, IRR, dan Payback Period untuk memberikan pemahaman yang lebih baik tentang kelayakan investasi. Metode ini sekaligus melengkapi penelitian sebelumnya yang membahas elemen ekonomi, efisiensi energi, dan teknis secara terpisah dan belum menggabungkannya ke dalam analisis kelayakan [16], [17].

Oleh karena itu, temuan penelitian ini mendukung kesimpulan SLR bahwa teknologi LED adalah alternatif pencahayaan yang lebih efisien daripada metode pencahayaan konvensional. Sebaliknya, penelitian ini menghubungkan kinerja teknis sistem pencahayaan dengan kelayakan investasi yang layak secara finansial pada objek apron floodlight. Hasil analisis menunjukkan bahwa proyek pengadaan dan pemasangan apron floodlight LED dinilai layak secara finansial berdasarkan indikator NPV, IRR, dan Payback Period. Namun, hasil ini harus dipertimbangkan bersama dengan asumsi operasional yang digunakan dalam perhitungan.

Identifikasi Potensi Risiko dan Strategi Mitigasi

Tabel 5.2 menguraikan identifikasi risiko dan strategi mitigasi. Proyek pengadaan dan pemasangan apron floodlight LED dapat menghadapi berbagai masalah yang dapat memengaruhi keberhasilan implementasi dan pencapaian target kelayakan yang telah dianalisis.

Lisensi: Creative Commons Attribution 4.0 International (CC BY 4.0)

Tabel 5.2 Identifikasi Risiko dan Strategi Mitigasi

No	Kategori Risiko	Deskripsi Risiko	Strategi Mitigasi
1	Finansial	Nilai harga satuan lampu floodlight dapat berubah mengikutin kurs dolar	Merencanakan dengan matang waktu pelaksanaanya.
2	Teknis	Waktu pelaksanaan pekerjaan pemasangan	Dibuat timeline yang detail dan berkoordinasi dengan Unit AMC terkait jadwal penerbangan dan jadwal parkir pesawat yang kosong.
3	Teknis	Penyesuaian capaian cahaya ke permukaan apron	Melakukan test lux meter untuk mendapatkan hasil Cahaya yang merata, Pemasangan arah lampu floodlight sangat berpengaruh terhadap Cahaya yang sampai ke permukaan apron atau ke bagian tertentu pesawat.

Pembahasan Keberlanjutan Proyek

Keberlanjutan proyek pengadaan dan pemasangan apron floodlight LED tergantung pada seberapa layak proyek itu pada waktunya. Itu juga akan menentukan seberapa baik kinerja teknis dan keuntungan ekonominya selama masa operasinya. Oleh karena itu, penelitian ini berkonsentrasi pada dua aspek utama keberlanjutan: keberlanjutan finansial jangka panjang dan keberlanjutan teknis. Keberlanjutan finansial membahas seberapa besar manfaat dan arus kas proyek dapat dipertahankan selama umur ekonomis yang ditetapkan. Sebaliknya, keberlanjutan teknis melihat seberapa kuat sistem LED untuk tetap andal, mudah dirawat, dan mendukung operasional selama masa penggunaannya. Metode ini diperlukan agar rekomendasi kelayakan proyek didasarkan pada hasil perhitungan investasi dan jangka panjang manfaat proyek dalam praktik operasional bandara.

Keberlanjutan Finansial Jangka Panjang

Keberlanjutan finansial proyek penggantian apron floodlight LED dapat dilihat dari kemampuan investasi untuk menghasilkan keuntungan ekonomi secara konsisten selama umur ekonomis proyek. Hasil perhitungan menunjukkan bahwa investasi awal sebesar Rp4.970.000.000 digunakan, dan penghematan biaya listrik diperkirakan sebesar Rp797.322.243,96 per tahun. Dengan umur ekonomis LED yang mencapai sebelas tahun, pengehematan ini menjadi keuntungan yang berulang selama proyek berlangsung. Secara sederhana, kondisi ini menunjukkan bahwa keuntungan tidak hanya dirasakan saat proyek dimulai, tetapi juga dapat mengurangi biaya operasi selama proyek berlangsung.

Dari perspektif pengembalian investasi, jangka waktu pengembalian investasi sebesar 6,23 tahun menunjukkan bahwa modal awal dapat diperoleh kembali sebelum umur ekonomis LED berakhir. Setelah jangka waktu tersebut habis, penghematan biaya listrik dapat dianggap sebagai keuntungan finansial bersih bagi pengelola selama sisa umur proyek. Hal ini menunjukkan bahwa lebih lama sistem LED dapat beroperasi sesuai umur ekonomisnya, lebih banyak uang yang dapat dihemat.

Hasil tersebut juga diperkuat oleh nilai nilai keseluruhan bersih (NPV) sebesar Rp208.656.615,31 dan nilai IRR sebesar 10,90%. Nilai NPV yang positif menunjukkan bahwa manfaat finansial yang diterima selama umur proyek masih lebih besar dibandingkan nilai investasi awal setelah memperhitungkan tingkat diskonto 10%.

Lisensi: Creative Commons Attribution 4.0 International (CC BY 4.0)

Sementara itu, nilai IRR sebesar 10,90%, yang lebih tinggi dari tingkat diskonto 10%, menunjukkan bahwa investasi masih memberikan tingkat pengembalian yang Oleh karena itu, dapat dikatakan bahwa proyek penggantian apron floodlight LED masih memiliki keuntungan keuangan yang berkelanjutan dalam jangka panjang, berdasarkan perhitungan yang dilakukan.

Sebaliknya, temuan ini juga menunjukkan bahwa tingkat kelayakan proyek tidak terlalu besar marginnya. Nilai NPV positif sangat kecil dibandingkan dengan investasi awal, dan perbedaan antara discount rate dan IRR hanya sekitar 0,90%. Singkatnya, kelangsungan finansial proyek masih cukup dipengaruhi oleh beberapa faktor, terutama seberapa besar penghematan listrik yang dapat dicapai selama operasi. Oleh karena itu, penggunaan energi, kualitas lampu, biaya pemeliharaan, dan kinerja sistem harus dipantau secara teratur untuk menjaga keuntungan finansial.

Berdasarkan uraian tersebut, dapat disimpulkan bahwa penggantian apron floodlight yang ada dengan teknologi LED memiliki keberlanjutan finansial dalam jangka panjang karena dapat menghasilkan penghematan biaya operasi setiap tahun, mengembalikan investasi sebelum umur ekonomis berakhir, dan memenuhi kriteria NPV dan IRR. Namun, keberlanjutan ini harus didukung oleh pengelolaan dan pemeliharaan yang baik agar penghematan menjadi dasar manfaat.

Keberlanjutan Teknis

Perbedaan karakteristik teknis kedua teknologi membuat penggantian sistem pencahayaan eksisting dengan floodlight LED semakin berlanjut secara teknis. Datasheet lampu sodium SON-T 1000 W yang digunakan pada sistem saat ini menunjukkan konsumsi daya 960 W dan masa pakai hingga 20.000 jam, sedangkan lampu LED FL-500 W yang direncanakan memiliki daya 500 W, output cahaya 82.500 lumen, power factor >0,95, perlindungan IP66, dan L70 hingga 100.000 jam. Berdasarkan data ini, efikasi LED mencapai sekitar 165 lumen/W, melampaui persyaratan minimum 140 lumen/W KAK. Selain itu, desain LED yang modular, penggunaan heatsink untuk mengontrol panas, dan konstruksi besi baja tahan korosi membuatnya mudah dirawat dan tahan terhadap lingkungan luar. Keunggulan keberlanjutan operasional diperkuat oleh persyaratan kerangka acuan kerja, yang memerlukan garansi produk selama lima tahun, stok minimal lima belas unit lampu di bandara, dan kehadiran perwakilan resmi atau workshop yang diizinkan untuk membantu memperbaiki dan mengganti unit dalam waktu singkat. Oleh karena itu, keberlanjutan teknis sistem LED tidak hanya ditentukan oleh efisiensi dan umur pakainya, tetapi juga oleh desain produk, kemudahan pemeliharaan, perlindungan garansi, dan kesiapan suku cadang. Semua kombinasi ini dapat meningkatkan keandalan sistem selama jangka waktu proyek yang lebih lama.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan evaluasi komprehensif terhadap aspek teknis, finansial, dan keberlanjutan lingkungan, modernisasi sistem apron floodlight di Terminal 3 Bandara Internasional Soekarno-Hatta melalui konversi ke teknologi LED terbukti memberikan nilai strategis yang signifikan. Secara teknis, transisi ini tidak hanya memangkas beban konsumsi energi listrik secara substansial hingga hampir separuh dari kapasitas eksisting, tetapi juga meningkatkan performa operasional bandara melalui masa pakai lampu yang jauh lebih panjang, fleksibilitas distribusi fotometrik, serta integrasi sistem kendali pencahayaan (smart dimming). Peningkatan kualitas visual dan pencahayaan ini secara langsung memperkuat keselamatan manuver pesawat dan efektivitas kerja personel darat di area apron.

Lisensi: Creative Commons Attribution 4.0 International (CC BY 4.0)

Dari perspektif kelayakan investasi, proyek retrofitting ini secara finansial terbukti layak dan menguntungkan (financially viable). Efisiensi energi yang dihasilkan memberikan penghematan biaya operasional listrik tahunan yang konsisten, menghasilkan nilai sekarang bersih (Net Present Value) yang positif, tingkat pengembalian internal (Internal Rate of Return) yang berada di atas biaya modal (discount rate), serta periode pengembalian modal (Payback Period) yang realistis dalam horizon umur ekonomis aset. Temuan ini menegaskan bahwa belanja modal (CapEx) awal yang dialokasikan dapat dijustifikasi sepenuhnya oleh penurunan beban operasional (OpEx) jangka panjang.

Secara manajerial dan kebijakan, hasil penelitian ini memberikan beberapa implikasi strategis bagi PT Angkasa Pura Indonesia:

1. Rekomendasi Kebijakan dan Adopsi Multi-Bandara
   PT Angkasa Pura Indonesia disarankan untuk segera menetapkan kebijakan retrofitting LED sebagai prioritas investasi infrastruktur udara, tidak hanya untuk Terminal 3 Soekarno-Hatta, melainkan juga sebagai model percontohan (benchmark) yang dapat direplikasi di bandara-bandara lain di bawah kelolaan korporasi.
2. Akselerasi Agenda Green & Smart Airport
   Penggantian ke sistem LED berkontribusi nyata terhadap dekarbonisasi operasional kebandarudaraan melalui reduksi jejak karbon (carbon footprint), mendukung pencapaian sertifikasi Airport Carbon Accreditation (ACA), serta menyelaraskan operasional bandara dengan komitmen Net Zero Emissions sektor aviasi nasional.
3. Optimasi Pemeliharaan dan Keandalan Fasilitas
   Adopsi fitur kontrol pintar (smart control system) perlu dimaksimalkan ke dalam sistem Building Management System (BMS) bandara untuk menerapkan pemeliharaan prediktif (predictive maintenance), sehingga siklus penggantian berkala lampu konvensional dapat diminimalisasi dan risiko gangguan operasional akibat downtime pencahayaan dapat ditekan secara optimal

REFERENCES

Anggelina, M., & Naipospos, B. P. (2023). Analisis kualitas layanan Terminal 3 Bandar Udara Internasional Soekarno Hatta berdasarkan permintaan penumpang. *Jurnal Manajemen Dirgantara*, 16(2), 298–307.

Assche, H. L. V., & Compernolle, T. (2021). *Economic feasibility studies for carbon capture and utilisation technologies: A tutorial review*. Research Square.

Astari, B., Effendi, I., Budiardi, T., Hadiroseyani, Y., Diatin, I., & Ismi, S. (2023). *Production performance and financial analysis of three segments business to support availability hybrid grouper seeds in marine culture*. Research Square.

Chen, S. (2025). Net Present Value (NPV) sensitivity analysis: Understanding risk in investment projects. *Advances in Economics, Management and Political Sciences*, *150*(1), 186–194.

Ebirim, W., Ninduwezuor-Ehiobu, N., Usman, F. O., Olu-Lawal, K. A., Ani, E. C., & Montero, D. J. P. (2024). Project management strategies for accelerating energy efficiency in HVAC systems amidst climate change. *International Journal of Management & Entrepreneurship Research*, *6*(3), 512–525.

Lisensi: Creative Commons Attribution 4.0 International (CC BY 4.0)

Falchi, F., & Haim, A. (2022). *Limiting the impact of light pollution on human health, environment and stellar visibility*. arXiv. https://arxiv.org/abs/2007.02063

Hanantyo, B., & Susanto, T. D. (2022). Kajian potensi penerapan teknologi smart airport di Bandara Internasional Soekarno-Hatta Jakarta Indonesia. *IS The Best: Accounting Information Systems and Information Technology Business Enterprise*, *7*(1), 61–75.

International Civil Aviation Organization. (2016). *Annex 14, Aerodromes* (7th ed., Vol. 1). International Civil Aviation Organization.

Iwuanyanwu, O., Gil-Ozoudeh, I., Okwandu, A. C., & Ike, C. S. (2024). Retrofitting existing buildings for sustainability: Challenges and innovations. *Engineering Science & Technology Journal*, *5*(8), 2616–2631.

Jeon, H. (2021). Investment and financing decisions in the presence of time-to-build. *European Journal of Operational Research*, *288*(3), 1068–1084.

Li, X., Lu, W., Wang, L., & Ye, C. (2024). Enhancing environmental sustainability: Risk assessment and management strategies for urban light pollution. *Sustainability*, *16*(14), Article 5997.

Mahmoud, H. M., Fayad, A. A., & Nassar, A. H. (2022). Investigating the impact of changing the usage type of existing structure using BIM. *Civil Engineering Journal*, *8*(8), 1606–1621.

Mishan, E. J., & Quah, E. (2020). *Cost-benefit analysis* (6th ed.). Routledge.

Mizrak, F., Mizrak, K. C., & Sahin, D. R. (2025). Advancing sustainable aviation by integrating renewable solar energy into unconventional airport spaces using a spherical fuzzy CRITIC–RATGOS approach. *Scientific Reports*, *15*(1), Article 37551.

Mizrak, F., & Şahin, D. R. (2025). Investment strategies for renewable energy technologies and harvesting systems in airport operations using spherical fuzzy MCDM models. *Scientific Reports*, *15*(1), Article 24075.

Mostafa, N. A., & Aboelezz, A. (2024). Feasibility-sustainability study of power generation using solar energy at an industrial site: A case study from Egypt. *Energy, Sustainability and Society*, *14*(1), Article 36.

Nashiruddin, M. I., Fadhila, P. A., Adriansyah, N. M., Ginting, I., Nugraha, M. A., & Rahmawati, P. (2023). Business sensitivity options of carrier aggregation strategies: A simulation model for 4G deployment in emerging countries. *TEM Journal*, *12*(4), 2088–2100.

Nezhad, M. Z., Nazarian-Jashnabadi, J., Rezazadeh, J., Mehraeen, M., & Bagheri, R. (2023). Assessing dimensions influencing IoT implementation readiness in industries: A fuzzy DEMATEL and fuzzy AHP analysis. *Journal of Soft Computing in Decision Analytics*, *1*(1), 102–123.

Nurlita, M. D., Masyita, D., & Faisal, Y. A. (2021). Feasibility analysis for investment of cargo village development in Soekarno-Hatta International Airport. *Jurnal Manajemen Bisnis*, *18*(2), 223–236.

Lisensi: Creative Commons Attribution 4.0 International (CC BY 4.0)

Pothukuchi, K. (2023). Mitigating urban light pollution: A review of municipal regulations and implications for planners. *Journal of Urban Affairs*, 1–28.

Pratama, A. Y., Taryana, T., & Soebiantoro, R. (2022). Analisa apron floodlight menggunakan lampu LED di Bandar Udara Adi Soemarmo – Solo. *Langit Biru*, *13*(2), 69–78.

Pratama, R. (2023). Cost Benefit Analysis (CBA) perbandingan biaya dan manfaat pengoperasian lampu runway edge light LED Runway 3 dengan lampu runway edge light halogen Runway 2 wilayah runway utara di Bandara Internasional Soekarno-Hatta. *Cakrawala Repositori IMWI*, *6*(2).

Purba, R. W., & Hidayat, R. (2022). Implementasi generator set dalam backup daya listrik di Bandara Internasional Kertajati. *Power Elektronik: Jurnal Orang Elektro*, *11*(2), 247.

Raharjo, M. A., Fauzan, M. A., & Driyono, B. (2021). Rancangan kontrol apron floodlight berbasis mikrokontroller via Telegram di Bandara Internasional Adi Soemarmo Solo. *Angkasa: Jurnal Teknik Dirgantara*, *4*(2).

Ross, S., Westerfield, R. R., & Jordan, B. D. (2003). *Fundamentals of corporate finance* (Vol. 1). McGraw-Hill Companies, Inc.

Sandi, R., Hadikusuma, S., & Santoso, D. B. (2025). Energy consumption comparison of halogen and LED runway lighting: Case study at West Java International Airport. *Techne*, *24*(1), 101–116.

Sari, M., & Octaviani, R. D. (2023). Decision to use electric vehicle at airport operation Jakarta. In *Analytic hierarchy process - models, methods, concepts, and applications*. IntechOpen.

Savvides, S. C. (2024). Risk analysis in project appraisal: The assessment of risk and return in capital investment decisions. *SSRN Electronic Journal*.

Simmons, S. M., Baur, S., Gillis, W. L., Burns, D., & Pickerill, H. (2022). Optimizing exterior lighting illuminance and spectrum for human, environmental, and economic factors. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, *1099*(1), Article 012047.

Syafrianita, S., Purnomo, A., Haryaman, A., Amran, K. M., Hariyanto, H., & Rohyana, C. (2025). Navigating operational excellence: A strategic framework for enhancing sustainable logistics performance at Indonesian International Airport. *Decision Science Letters*, *14*(2), 361–374.

Uyan, E., Atlar, M., & Ölçer, A. I. (2023). Improving the energy efficiency of lighting systems for a marine equipment manufacturing plant through retrofitting, daylighting, and behaviour change. *Journal of Cleaner Production*, *413*, Article 137216.

Weinold, M. P., Kolesnikov, S., & Anadón, L. D. (2025). Rapid technological progress in white light-emitting diodes and its source in innovation and technology spillovers. *Nature Energy*, *10*(5), 616–629.

Yasa, I. W. P. S. (2022). Analisis konsumsi energi untuk efisiensi kelistrikan pada penggunaan sistem tata cahaya apron flood light bandar udara. *Jurnal Kajian Teknik Elektro*, *6*(2), 54–61.

Lisensi: Creative Commons Attribution 4.0 International (CC BY 4.0)