

Rancangan Reinstalasi *Runway Edge Light* di Bandar Udara Nusawiru Pangandaran

Ade Akbar Mukhlisin¹ KGS. M. Ismail² Rubby Soebiantoro³

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

Email: akbarmukhlisin22@gmail.com¹ kgs.ismail@ppicurug.ac.id² rubby605@gmail.com³

Abstrak

Sistem Runway Edge Light (REL) di Bandar Udara Nusawiru Pangandaran masih menggunakan satu circuit tunggal dengan jarak antar lampu sekitar 120 meter, sehingga belum memenuhi ketentuan SKEP Nomor 114 Tahun 2002 dan Peraturan Direktur Jenderal Perhubungan Udara Nomor PR 21 Tahun 2023. Kondisi tersebut berpotensi menurunkan efektivitas panduan visual bagi pilot, terutama pada operasi malam hari dan kondisi visibilitas rendah, sementara rencana penghentian operasional Bandara Kertajati berpotensi meningkatkan trafik penerbangan di Nusawiru. Penelitian ini bertujuan menghasilkan rancangan reinstalasi Runway Edge Light yang sesuai standar guna meningkatkan keandalan sistem penerangan landas pacu. Metode yang digunakan adalah Research and Development (R&D) Level 1 yang meliputi identifikasi masalah, pengumpulan data, perancangan desain, dan validasi desain, dengan data diperoleh melalui observasi lapangan, wawancara bersama pihak Bandar Udara Nusawiru, serta studi literatur yang mengacu pada ICAO Annex 14 Volume I, ICAO Doc 9157, PR 21 Tahun 2023, dan PUIL 2020. Perancangan mencakup penentuan jumlah lampu, konfigurasi circuit, perhitungan kebutuhan daya, pemilihan kapasitas Constant Current Regulator (CCR), spesifikasi kabel, sistem proteksi, serta penyusunan Detail Engineering Design (DED), Bill of Quantity (BOQ), dan Rencana Kerja dan Syarat (RKS). Hasil rancangan menunjukkan bahwa untuk runway sepanjang 1.400 meter dan lebar 30 meter dibutuhkan 46 unit Runway Edge Light yang dipasang pada kedua sisi runway dengan jarak maksimum 60 meter, menggunakan dua circuit seri 6,6 A dengan CCR berkapasitas 4 kVA pada masing-masing circuit. Kebutuhan daya total diperoleh sebesar 2,666 kVA pada Circuit 1 dan 2,496 kVA pada Circuit 2. Rancangan ini telah memenuhi standar teknis yang berlaku dan dapat dijadikan acuan dalam pelaksanaan pembangunan sistem Runway Edge Light di Bandar Udara Nusawiru Pangandaran.

Kata Kunci: *Runway Edge Light; Airfield Lighting System; Constant Current Regulator; Bandar Udara Nusawiru; Detail Engineering Design*



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

PENDAHULUAN

Bandar udara merupakan infrastruktur utama dalam sistem transportasi udara yang berfungsi sebagai tempat lepas landas dan mendaratnya pesawat, sekaligus pusat pergerakan penumpang dan barang, sehingga keandalan fasilitas pendukungnya menjadi faktor penentu keselamatan penerbangan. Bandar Udara Nusawiru Pangandaran, yang terletak di Kecamatan Cijulang, Kabupaten Pangandaran, Jawa Barat, melayani penerbangan perintis dan jarak pendek dengan landas pacu sepanjang 1.400 meter dan lebar 30 meter. Salah satu fasilitas alat bantu visual yang tersedia adalah Runway Edge Light (REL), yaitu deretan lampu di sepanjang sisi runway yang membantu pilot mengenali batas landasan pada malam hari maupun saat visibilitas terbatas. Hasil observasi lapangan menunjukkan bahwa sistem REL eksisting masih menggunakan satu circuit tunggal dengan jarak antar lampu sekitar 120 meter. Kondisi ini tidak sesuai dengan SKEP/114/VI/2002 tentang Standar Gambar Instalasi Sistem Penerangan Bandar Udara maupun Peraturan Direktur Jenderal Perhubungan Udara Nomor PR 21 Tahun 2023 poin 5.3.9.7, yang mensyaratkan konfigurasi dua circuit (dual circuit) serta jarak antar lampu tidak lebih dari 60 meter untuk runway instrumen dan 60–100 meter untuk runway non-instrumen. Jarak 120 meter pada kondisi eksisting telah melampaui batas maksimum yang

diizinkan, sehingga berpotensi menurunkan efektivitas panduan visual bagi pilot, terutama pada operasi malam hari atau kondisi kabut dan hujan lebat. Permasalahan ini semakin relevan mengingat adanya rencana penghentian operasional Bandara Kertajati yang berpotensi mengalihkan sebagian trafik penerbangan ke Bandara Nusawiru, sehingga tuntutan terhadap keandalan fasilitas visual guidance akan meningkat.

Penelitian terdahulu memperkuat urgensi pembaruan sistem REL berbasis LED dan perbaikan konfigurasi jaringan kabel. Akbar & Saragi (2022) membuktikan bahwa penggantian lampu halogen menjadi LED pada REL Bandara Minangkabau meningkatkan efisiensi daya secara signifikan dengan umur pakai hingga 56.000 jam. Hadikusuma & Santoso (2025) menunjukkan penghematan biaya energi hingga 80,48% per tahun melalui migrasi ke lampu LED. Sementara itu, Koswara dkk. (2025) menemukan bahwa kerusakan rubber isolation tape pada konektor kabel AFL menjadi penyebab utama penurunan tahanan isolasi jaringan, dan Wijaya dkk. (2023) menegaskan pentingnya perhitungan konfigurasi lampu dan kapasitas CCR yang tepat pada perancangan sistem penerangan bandar udara. Berdasarkan kajian tersebut, dapat disimpulkan bahwa pemutakhiran teknologi lampu, penataan konfigurasi circuit, serta proteksi jaringan kabel merupakan kombinasi mendasar dalam mendesain ulang sistem REL yang andal.

Kebaruan penelitian ini terletak pada penyusunan rancangan reinstalasi REL yang spesifik untuk karakteristik geometris dan operasional Bandar Udara Nusawiru, mencakup perhitungan teknis menyeluruh mulai dari jumlah dan pembagian circuit, rugi daya penghantar, kapasitas CCR, hingga volume pekerjaan galian kabel, yang belum pernah disusun sebelumnya untuk lokasi ini. Berbeda dengan penelitian terdahulu yang umumnya berfokus pada satu aspek (efisiensi energi atau tahanan isolasi saja), penelitian ini mengintegrasikan seluruh tahapan perancangan ke dalam dokumen Detail Engineering Design (DED), Bill of Quantity (BOQ), dan Rencana Kerja dan Syarat (RKS) yang siap dijadikan acuan pelaksanaan di lapangan. Berdasarkan uraian tersebut, tujuan penelitian ini adalah menghasilkan rancangan reinstalasi Runway Edge Light di Bandar Udara Nusawiru Pangandaran yang sesuai dengan ICAO Annex 14 Volume I, ICAO Doc 9157, PR 21 Tahun 2023, dan PUIL 2020, sehingga mampu meningkatkan keandalan panduan visual serta mendukung keselamatan operasi penerbangan pada berbagai kondisi cuaca dan pencahayaan.

Penelitian Terdahulu yang Relevan

No	Penulis/ Tahun	Judul	Tujuan	Metode	Hasil	Kontribusi dan relevansi
1	Akbar & Saragi (2022)	Analisa Peningkatan Efisiensi Daya Listrik Runway Edge Light di Bandara Minangkabau dengan Lampu LED	Menganalisis efisiensi daya akibat penggantian lampu halogen ke LED	Analisis komparatif konsumsi daya	Lampu LED menurunkan konsumsi daya dan memiliki umur pakai hingga 56.000 jam	Dasar pemilihan lampu LED yang lebih efisien pada rancangan ini
2	Hadikusuma & Santoso (2025)	Energy Consumption Comparison of Halogen and LED Runway Lighting: Case Study at West Java International Airport	Membandingkan konsumsi energi lampu halogen dan LED	Studi kasus dan analisis biaya energi	Lampu LED menghemat biaya listrik hingga 80,48% per tahun	Memperkuat justifikasi ekonomi pemilihan armatur LED
3	Koswara dkk. (2025)	Analisis Tahanan Isolasi Jaringan Airfield Lighting pada Runway Edge Light di	Menganalisis penurunan tahanan isolasi jaringan AFL	Pengukuran tahanan isolasi lapangan	Kerusakan rubber isolation tape menurunkan tahanan isolasi	Acuan perencanaan proteksi konektor dan

		Bandara Radin Inten II Lampung			terutama saat musim hujan	pengendalian kelembapan
4	Wijaya dkk. (2023)	Perencanaan Pemasangan Medium Approach Lighting System (MALS) pada Runway 09 Bandara I Gusti Ngurah Rai Bali	Merancang MALS sesuai standar ICAO Annex 14 dan SKEP 114/2002	Perancangan teknis dan perhitungan kapasitas CCR	Dihasilkan rancangan MALS 420 meter dengan 45 unit lampu LED	Acuan metodologi perhitungan konfigurasi lampu dan kapasitas CCR

METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan pendekatan Research and Development (R&D) model pengembangan Level 1 yang meliputi empat tahapan, yaitu identifikasi potensi dan masalah, pengumpulan data, perancangan desain, dan validasi desain. Lokasi penelitian berada di Bandar Udara Nusawiru, Kecamatan Cijulang, Kabupaten Pangandaran, Jawa Barat, yang dilaksanakan pada bulan Maret hingga Agustus 2026. Pengumpulan data dilakukan melalui tiga teknik utama. Pertama, observasi lapangan untuk memperoleh data aktual tata letak runway, kondisi eksisting REL, jalur instalasi kabel, serta pengukuran panjang jaringan menggunakan aplikasi Google Earth yang divalidasi dengan pengukuran langsung di lapangan menggunakan meteran, ditambah faktor koreksi 10% untuk mengakomodasi bagian tikungan jalur kabel. Kedua, wawancara dengan Kepala UPTD Pelayanan Jasa Kebandarudaraan Nusawiru untuk memperoleh informasi mengenai riwayat pemasangan, kondisi operasional, serta kendala pada sistem REL eksisting, termasuk kerusakan kabel primer akibat aktivitas alat berat pada pekerjaan overlay runway. Ketiga, studi literatur terhadap ICAO Annex 14 Volume I, ICAO Doc 9157 Part 4 dan Part 5, PR 21 Tahun 2023, PR 26 Tahun 2022, serta PUIL 2020 sebagai acuan spesifikasi lampu, konfigurasi instalasi, dan kapasitas peralatan. Berdasarkan data yang diperoleh, perancangan desain dilakukan dengan menentukan jumlah dan tata letak lampu menggunakan persamaan $n = L/S$, pembagian dua circuit seri untuk meningkatkan keandalan sistem, perhitungan beban dan rugi daya pada penghantar primer dan sekunder, penentuan kapasitas Constant Current Regulator (CCR), pemilihan spesifikasi kabel dan sistem proteksi (circuit breaker), serta perhitungan volume pekerjaan galian kabel. Hasil rancangan selanjutnya divalidasi oleh Kepala UPTD Pelayanan Jasa Kebandarudaraan Nusawiru melalui penelaahan layout penempatan lampu, konfigurasi circuit, perhitungan beban listrik, dan kesesuaiannya terhadap regulasi yang berlaku, sebelum dituangkan ke dalam dokumen Detail Engineering Design (DED), Bill of Quantity (BOQ), dan Rencana Kerja dan Syarat (RKS).

HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

Hasil Penelitian

Penelitian ini dilakukan di Bandar Udara Nusawiru Pangandaran. Berdasarkan hasil observasi, sistem Runway Edge Light eksisting menggunakan satu circuit primer tunggal dengan jarak antar lampu sekitar 120 meter dan sebagian armatur dalam kondisi rusak atau hilang, sehingga tidak dapat lagi memberikan panduan visual yang memadai. Hasil wawancara dengan Kepala Bandar Udara Nusawiru menegaskan bahwa sistem tersebut telah beroperasi sejak tahun 2010 dengan konfigurasi satu circuit karena keterbatasan anggaran pada masa pembangunan awal, dan bahwa sebagian jalur kabel primer mengalami kerusakan akibat aktivitas alat berat pada pekerjaan overlay permukaan runway. Perbandingan konfigurasi desain eksisting dengan desain hasil rancangan reinstalasi disajikan pada Tabel 2. Desain baru menggunakan dua circuit seri 6,6 A yang masing-masing dilengkapi CCR berkapasitas 4 kVA, dengan jarak antar lampu maksimum 60 meter serta jumlah total 46 unit lampu, sehingga telah memenuhi ketentuan PR 21 Tahun 2023 dan SKEP/114/VII/2002 sekaligus meningkatkan keandalan sistem melalui redundansi dua circuit.

Tabel 2. Perbandingan Desain Eksisting dan Desain Baru terhadap Acuan Regulasi

Aspek	Desain Eksisting (Lama)	Desain Baru (Rancangan)	Acuan Regulasi
Jumlah circuit	1 circuit primer (tunggal)	2 circuit seri 6,6 A (Circuit 1 & 2)	PR 21 Tahun 2023 (MOS 139 Vol. I)
Jarak antar lampu	± 120 meter	Maksimum 60 meter	PR 21 Tahun 2023 & SKEP/114/VII/2002
Jumlah lampu	Tidak terdokumentasi (sebagian rusak/hilang)	46 unit (24 unit Circuit 1, 22 unit Circuit 2)	ICAO Annex 14 Volume I
Kapasitas CCR	Tidak terdokumentasi	2 unit CCR, masing-masing 4 kVA	PR 26 Tahun 2022

Berdasarkan data panjang runway 1.400 meter dan jarak antar lampu maksimum 60 meter sesuai SKEP Nomor 114 Tahun 2002, jumlah lampu pada satu sisi runway dihitung dengan persamaan $n = L/S = 1.400/60 = 23,33$ yang dibulatkan menjadi 23 unit. Karena lampu dipasang pada kedua sisi runway, maka total kebutuhan lampu adalah $N = 23 \times 2 = 46$ unit. Lampu yang dipilih adalah ADB Safegate AXON LED Elevated L-862(L) tipe White/White berkapasitas 49 VA/6,6 A, yang dihubungkan melalui isolating transformer 65 W pada setiap titik. Pemilihan armatur LED ini konsisten dengan temuan Akbar & Saragi (2022) dan Hadikusuma & Santoso (2025) yang menunjukkan keunggulan efisiensi daya dan umur pakai lampu LED dibandingkan halogen konvensional. Untuk meningkatkan keandalan sistem, ke-46 unit lampu dibagi ke dalam dua circuit yang bekerja independen, yaitu Circuit 1 sebanyak 24 unit dan Circuit 2 sebanyak 22 unit, sehingga apabila terjadi gangguan pada satu circuit, sisi runway lainnya tetap memperoleh panduan visual dari circuit yang masih beroperasi. Perhitungan beban lampu menggunakan persamaan $P_{load} = n \times P_{tr}$, dengan P_{tr} merupakan kapasitas isolating transformer sebesar 65 watt per titik, karena pada sistem AFL sirkuit seri, beban yang dilihat CCR adalah beban transformator isolasi pada sisi primer. Hasil perhitungan diperoleh beban Circuit 1 sebesar 1.560 watt ($24 \times 65 \text{ W}$) dan beban Circuit 2 sebesar 1.430 watt ($22 \times 65 \text{ W}$). Panjang jalur kabel primer FL2XCY $1 \times 6 \text{ mm}^2$ dari ruang CCR menuju rangkaian lampu diukur menggunakan aplikasi Google Earth yang divalidasi dengan pengukuran lapangan, diperoleh panjang 3.376 meter untuk masing-masing circuit dengan penambahan faktor keamanan 10% menjadi 3.713,6 meter. Rugi daya kabel primer dihitung menggunakan resistansi jenis kabel $3,08 \Omega/\text{km}$, sehingga diperoleh $R_{prim} = 11,437 \Omega$ dan rugi daya $P_{loss} = I^2 \times R = (6,6 \text{ A})^2 \times 11,437 \Omega = 498,2 \text{ watt}$ untuk setiap circuit. Sementara itu, kabel sekunder NYYHY $2 \times 2,5 \text{ mm}^2$ sepanjang rata-rata 10 meter per titik menghasilkan resistansi $0,072 \Omega$ dan rugi daya 3,136 watt per titik, sehingga total rugi daya kabel sekunder adalah 75,264 watt pada Circuit 1 (24 titik) dan 68,992 watt pada Circuit 2 (22 titik). Rekapitulasi perhitungan beban disajikan pada Tabel 3.

Tabel 3. Rekapitulasi Beban dan Rugi Daya per Circuit

Parameter	Circuit 1	Circuit 2
Jumlah lampu	24 unit	22 unit
Daya isolating transformer	65 watt	65 watt
Total beban lampu (Pload)	1.560 watt	1.430 watt
Rugi daya kabel primer (Ploss prim)	498,2 watt	498,2 watt
Rugi daya kabel sekunder (Ploss sec)	75,264 watt	68,992 watt
Kebutuhan daya total (VAtotal)	2,666 kVA	2,496 kVA
Kapasitas CCR terpasang	4 kVA	4 kVA

Kapasitas Constant Current Regulator (CCR) dihitung menggunakan persamaan $V_{Atotal} = (P_{load} + P_{loss \text{ prim}} + P_{loss \text{ sec}})/\cos \theta$ dengan faktor daya 0,8. Hasil perhitungan menunjukkan kebutuhan daya Circuit 1 sebesar 2.666,83 VA (2,666 kVA) dan Circuit 2 sebesar 2.496,48 VA (2,496 kVA). Berdasarkan nilai tersebut, dipilih CCR berkapasitas 4 kVA untuk masing-masing

circuit karena kapasitasnya lebih besar dari kebutuhan hasil perhitungan sekaligus menyediakan cadangan daya untuk pengembangan sistem di masa mendatang, termasuk kemungkinan penambahan Runway Threshold Light pada ujung runway yang direinstalasi. Kabel power sisi input CCR ditentukan berdasarkan arus nominal $I = S/(\sqrt{3} \times V) = 5.000 \text{ VA}/(1,732 \times 400 \text{ V}) = 7,21 \text{ A}$. Mengacu pada PUIL 2020, kapasitas hantar arus (KHA) minimum yang dipersyaratkan adalah $125\% \times I_n = 9,01 \text{ A}$, sehingga dipilih kabel NYY 4×2,5 mm² yang memiliki KHA jauh di atas nilai minimum tersebut. Untuk sistem proteksi, arus pengaman ditentukan sebesar $110\% \times I_n = 7,9 \text{ A}$, sehingga dipilih Miniature Circuit Breaker (MCB) tiga fasa berkapasitas 10 A pada sisi input CCR sebagai pengaman terhadap gangguan arus lebih dan hubung singkat. Penanaman kabel primer direncanakan menggunakan galian berbentuk trapesium dengan lebar atas 0,6 m, lebar dasar 0,4 m, dan kedalaman 0,8 m, sehingga diperoleh luas penampang galian 0,4 m². Dengan panjang jalur 3.376 meter, volume total galian yang dibutuhkan adalah 1.350,4 m³. Material pengisi galian terdiri atas lapisan pasir setebal 20 cm dengan volume 337,6 m³ sebagai alas dan pelindung kabel, susunan bata merah pelindung mekanis sebanyak 16.880 buah pada kedalaman 550–600 mm sebagai penanda keberadaan jalur kabel, serta tanah urug hasil galian sebesar 928,4 m³ untuk menutup kembali galian secara bertahap dan dipadatkan per lapis.

Pembahasan

Hasil perancangan menunjukkan bahwa penggantian konfigurasi satu circuit menjadi dua circuit seri secara langsung menjawab kesenjangan (gap) antara kondisi eksisting dan ketentuan PR 21 Tahun 2023 maupun SKEP/114/VII/2002. Penurunan jarak antar lampu dari 120 meter menjadi maksimum 60 meter meningkatkan kerapatan titik acuan visual di sepanjang sisi runway, sehingga kontinuitas garis tepi landasan menjadi lebih jelas bagi pilot pada kondisi malam hari maupun visibilitas rendah, sejalan dengan fungsi dasar Runway Edge Light sebagaimana dijelaskan dalam ICAO Annex 14 Volume I dan ICAO Doc 9157 Part 4. Pembagian beban ke dalam dua circuit yang independen juga memberikan manfaat redundansi yang tidak dimiliki oleh sistem eksisting. Apabila salah satu circuit mengalami gangguan, misalnya akibat kerusakan kabel primer sebagaimana pernah terjadi pada instalasi lama, sisi runway yang dilayani oleh circuit lain tetap dapat memberikan panduan visual, sehingga risiko terhentinya seluruh sistem penerangan runway dapat diminimalkan. Temuan ini memperkuat hasil kajian Koswara dkk. (2025) yang menekankan pentingnya keandalan jaringan kabel dan konektor terhadap kinerja keseluruhan sistem Airfield Lighting.

Dari sisi kapasitas peralatan, pemilihan CCR 4 kVA untuk kebutuhan aktual 2,666 kVA dan 2,496 kVA memberikan margin keamanan sekitar 34–37% terhadap beban terhitung, yang sejalan dengan praktik umum perancangan AFL sebagaimana dikemukakan Wijaya dkk. (2023) agar sistem memiliki ruang pengembangan tanpa perlu penggantian peralatan pada jangka pendek. Meski demikian, apabila rencana penambahan Runway Threshold Light pada ujung runway direalisasikan, margin kapasitas CCR pada Circuit 1 akan menyempit secara signifikan sehingga evaluasi ulang kapasitas peralatan tetap diperlukan sebelum tahap pelaksanaan konstruksi. Secara keseluruhan, hasil perancangan ini telah menjawab rumusan masalah penelitian, yaitu menghasilkan rancangan reinstalasi Runway Edge Light yang sesuai standar teknis dan mampu meningkatkan keandalan panduan visual bagi operasional penerbangan di Bandar Udara Nusawiru Pangandaran.

KESIMPULAN

Rancangan reinstalasi Runway Edge Light di Bandar Udara Nusawiru Pangandaran telah disusun mengacu pada ICAO Annex 14 Volume I, ICAO Doc 9157, PR 21 Tahun 2023, dan PUIL 2020, sehingga mengoreksi konfigurasi eksisting yang hanya menggunakan satu circuit dengan

jarak antar lampu 120 meter menjadi dua circuit seri 6,6 A dengan jarak antar lampu maksimum 60 meter dan total 46 unit lampu, terbagi menjadi 24 unit pada Circuit 1 dan 22 unit pada Circuit 2. Perhitungan teknis menunjukkan kebutuhan daya sebesar 2,666 kVA pada Circuit 1 dan 2,496 kVA pada Circuit 2, sehingga dipilih CCR berkapasitas 4 kVA pada masing-masing circuit, didukung kabel primer FL2XCY $1 \times 6 \text{ mm}^2$, kabel sekunder NYHY $2 \times 2,5 \text{ mm}^2$, kabel power NYY $4 \times 2,5 \text{ mm}^2$, serta pengaman MCB tiga fasa 10 A. Dengan konfigurasi tersebut, sistem memiliki redundansi yang lebih baik dibandingkan kondisi eksisting sehingga panduan visual bagi pilot tetap tersedia meskipun salah satu circuit mengalami gangguan.

Penelitian ini masih memiliki keterbatasan, antara lain jumlah dan penempatan pasti Runway Threshold Light belum dikonfirmasi sepenuhnya sehingga perhitungan kapasitas CCR pada skenario pengembangan tersebut masih bersifat estimasi, serta analisis biaya konstruksi dan pemeliharaan belum dibahas secara rinci. Oleh karena itu, disarankan agar sebelum pelaksanaan konstruksi dilakukan survei lapangan lanjutan untuk memastikan kondisi aktual lokasi, digunakan material dan peralatan yang telah tersertifikasi sesuai standar ICAO dan regulasi Direktorat Jenderal Perhubungan Udara, serta dilakukan penyusunan analisis biaya secara lebih rinci. Penelitian selanjutnya juga dapat mengembangkan rancangan Airfield Lighting System secara lebih menyeluruh dengan menambahkan fasilitas Runway Threshold Light, Runway End Light, Taxiway Light, atau Precision Approach Path Indicator (PAPI), disertai pengujian dan evaluasi kinerja setelah sistem direalisasikan untuk memastikan kesesuaiannya dengan standar keselamatan penerbangan. Ucapan terima kasih disampaikan kepada Kepala UPTD Pelayanan Jasa Kebandarudaraan Nusawiru serta seluruh dosen Program Studi Teknik Listrik Bandara Politeknik Penerbangan Indonesia Curug atas bimbingan dan dukungan data yang diberikan selama penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- ADB Safegate. (2025a). Primary Connector Kits. <https://adbsafegate.com/products/airfield/transformers-cables/primary-kits>
- ADB Safegate. (2025b). SCK - Secondary Connector Kits. <https://adbsafegate.com/products/airfield/transformers-cables/sck-secondary-connector-kits-l-823/>
- Akbar, M. C., & Saragi, A. (2022). Analisa peningkatan efisiensi daya listrik runway edge light di Bandar Udara Minangkabau dengan lampu LED. *Airman: Jurnal Teknik dan Keselamatan Transportasi*, 5(2), 54–62. <https://doi.org/10.46509/ajtk.v5i2.230>
- Andreansyah, C., Shalahuddin, Y., & Widhining, D. K. A. (2023). Studi kelayakan sistem grounding instalasi listrik pada Gedung Ulil Albab Uniska Kediri. *Universitas Islam Kediri*.
- Budi, S., Situmeang, A., Tharo, Z., & Anisah, S. (2024). Analisis sistem constant current regulator pada airfield lighting system di bandar udara. *Journal of Information Technology and Computer Science (INTECOMS)*, 7(2).
- Demeianto, B., Ziddin, H., & Siahaan, J. P. (2021). Analisa penggunaan gawai pengaman dan kabel penghantar pada instalasi listrik pada kapal perikanan (studi kasus: KM. Pulau Pinang). *Aurelia Journal*, 3(1), 25. <https://doi.org/10.15578/aj.v3i1.10329>
- Hadikusuma, R. S., & Santoso, D. B. (2025). Energy consumption comparison of halogen and LED runway lighting: Case study at West Java International Airport. *Politeknik Penerbangan Indonesia Curug*.
- ICAO. (2016). Annex 14 volume I: Aerodrome design and operations. International Civil Aviation Organization.
- Kementerian Perhubungan Republik Indonesia. (2023). Peraturan Direktur Jenderal Perhubungan Udara Nomor PR 21 Tahun 2023 tentang Manual of Standards Part 139 Volume I Aerodrome.



- Koswara, I., Soebiantoro, R., & Al Baihaqi, A. (2025). Analisis tahanan isolasi jaringan airfield lighting pada runway edge light di Bandar Udara Internasional Radin Inten II Lampung. Politeknik Penerbangan Indonesia Curug.
- Kustori, & Suhanto. (2018). Rancangan alat re-setting Precision Approach Path Indicator (PAPI) menggunakan motor DC dengan sistem computerize. Sekolah Tinggi Penerbangan Indonesia.
- Luwihono, A., Kurniawati, Z., & Firstnanda, F. E. (2016). Rancangan alat simulasi tata letak dan konfigurasi sirkuit lampu AFL berbasis mikrokontroler di Program Studi Teknik Listrik Bandara Sekolah Tinggi Penerbang Indonesia. Sekolah Tinggi Penerbang Indonesia.
- Panjaitan, A., Sahputra, A., & Syafrisel, D. (2020). Analisis sistem constant current regulator pada lampu Precision Approach Path Indicator di bandar udara. Edu Elekrika Journal, 9(2).
- Purwaningsih, G. A., & Badarudin, R. (2024). Analisis kinerja circuit breaker pada sisi 150 kV Gardu Induk Bantul. Media Elekrika, 17(2).
- Republik Indonesia. (2009). Undang-Undang Republik Indonesia Nomor 1 Tahun 2009 tentang Penerbangan.
- Sena, A., & Prayitno, H. (2024). Membangun transformasi digital dan berkelanjutan transportasi udara Indonesia. Al Qalam: Jurnal Ilmiah Keagamaan dan Kemasyarakatan, 18(1), 696. <https://doi.org/10.35931/aq.v18i1.2777>
- Setyo Nugroho, D., Kustori, & Darmaji. (2021). Rancangan control dan monitoring AFL (airfield lighting system) berbasis IoT sebagai sarana pembelajaran taruna di Politeknik Penerbangan Surabaya. Politeknik Penerbangan Surabaya.
- Simaremare, F., Bunahri, R. R., Arta, D. N. C., & Kona, M. (2023). Analisa penambahan jalur circuit D pada taxiway di Bandar Udara Internasional I Gusti Ngurah Rai - Bali. SKY EAST: Education of Aviation Science and Technology, 1(2), 122–131. <https://doi.org/10.61510/skyeast.v1i2.16>
- Sudjoko, R. I., Hartono, Hariyadi, S., & Suwito. (2021). Design and simulation of airfield lighting system using 8 luminaire in airfield lighting laboratory at Politeknik Penerbangan Surabaya. Journal of Physics: Conference Series, 1845(1). <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1845/1/012034>
- Ta'ali, T., Pulungan, A. B., Hambali, H., & Shalvadila, S. (2021). Analisis sistem grounding di Fakultas Teknik Universitas Negeri Padang. JTEV (Jurnal Teknik Elektro dan Vokasional), 7(2), 320. <https://doi.org/10.24036/jtev.v7i2.114819>
- Vidal, D., Monjo, L., & Sainz, L. (2016). Aeronautical ground lighting system study: Field measurements and simulations. IET Generation, Transmission and Distribution, 10(13), 3228–3233. <https://doi.org/10.1049/iet-gtd.2015.1536>
- Wijaya, D. F. H., Bunahri, R. R., & Kona, M. (2023). Perencanaan pemasangan Medium Approach Lighting System (MALS) pada Runway 09 di Bandar Udara I Gusti Ngurah Rai - Bali. SKY EAST: Education of Aviation Science and Technology, 1(2), 132–142. <https://doi.org/10.61510/skyeast.v1i2.17>
- Yahya, R., & Hilal, R. F. (2023). Standarisasi kelayakan fasilitas toilet pada area landside di Bandar Udara Nusawiru Pangandaran. JLEB: Journal of Law, Education and Business, 1(2), 633–644. <https://doi.org/10.57235/jleb.v1i2.1066>