

Rancangan Reinstalasi *Runway Light* 16-34 di Bandar Udara Mopah Merauke

Andi Kartia Anugrah Sari¹ I Wayan Juliarta² Dian Anggraini³

Program Studi D-IV Teknik Listrik Bandara, Politeknik Penerbangan Indonesia Curug,

Tangerang, Indonesia ^{1,2,3}

Email: andikartiaaika25@gmail.com¹ juliarta71@gmail.com² diananggraini@ppicurug.ac.id³

Abstract

The background of this research is the decrease in the insulation resistance value of the primary cable in the runway light system at Mopah Airport, Merauke, to approximately 20 MΩ. This value does not meet the minimum requirement stipulated in the Regulation of the Director General of Civil Aviation Number PR 26 of 2022.. In addition to the problems with the primary cable, the physical condition of the runway light installation has also changed due to several runway overlay works. These conditions have resulted in changes in the runway surface elevation relative to the position of the light fixtures, requiring adjustments to the position and elevation of the pedestals in the reinstatement design. Furthermore, the location of the existing isolation transformers requires attention because the components are directly accessible. Therefore, the reinstatement design includes rearranging the location of the isolation transformers by placing them in transformer pits as an effort to protect the components and improve the arrangement of the installation. These conditions provide the basis for designing the runway light reinstatement as a technical reference for the replacement and rearrangement of the installation. The objective of this research is to develop a runway light reinstatement design appropriate to the operational conditions of Mopah Airport, Merauke, to produce a Detailed Engineering Design (DED) and Bill of Quantity (BOQ), and to analyze the technical feasibility of the proposed design. The research method employed is the Engineering Design Method, using VDI 2221 as the design methodology, which consists of the stages Clarify and Define the Task, Determine Functions, Search for Solution Principles, Divide into Realizable Modules, and Develop Modular Structures. Data were collected through field observation, literature study, documentation, and interviews. The results of the research include a runway light reinstatement design using two circuits consisting of runway edge lights, threshold lights, and runway end lights, a primary FL2XCY 1×6 mm² cable network, a secondary NYY 2×1.5 mm² cable network, adjustments to the position and elevation of the pedestals, placement of isolation transformers in transformer pits, a grounding system, DED, BOQ, and a feasibility analysis based on applicable technical requirements and regulations. The analysis results indicate that the proposed runway light reinstatement design meets the technical and operational requirements of Mopah Airport, Merauke, and is considered feasible for implementation as a reference for the reinstatement work in accordance with the applicable technical specifications and regulations.

Keywords: *Runway Light, Reinstatement, Engineering Design Method, VDI 2221, Detailed Engineering Design (DED), Bill of Quantity (BOQ), Feasibility*

Abstrak

Latar belakang penelitian ini adalah menurunnya nilai tahanan isolasi kabel primer pada sistem *runway light* di Bandar Udara Mopah Merauke ±20 MΩ, hal tersebut tidak memenuhi persyaratan minimum berdasarkan Peraturan Direktur Jenderal Perhubungan Udara Nomor PR 26 Tahun 2022. Selain permasalahan pada kabel primer, kondisi fisik instalasi *runway light* juga mengalami perubahan akibat pekerjaan pelapisan ulang (*overlay*). Kondisi tersebut menyebabkan perubahan elevasi permukaan landasan pacu terhadap posisi kedudukan lampu, sehingga diperlukan penyesuaian kembali posisi dan elevasi kedudukan Lmpu dalam perancangan reinstalasi. Selain itu, penempatan *isolation transformer* pada kondisi eksisting juga perlu diperhatikan karena memungkinkan akses secara langsung terhadap komponen tersebut. Oleh karena itu, pada rancangan reinstalasi dilakukan penataan kembali lokasi *isolation transformer* dengan menempatkannya pada *transformer pit* sebagai bagian dari upaya perlindungan komponen dan penataan instalasi. Kondisi tersebut menjadi dasar dilakukannya perancangan reinstalasi *runway light* sebagai acuan teknis dalam pelaksanaan pekerjaan penggantian dan penataan kembali instalasi. Tujuan penelitian ini adalah menyusun rancangan reinstalasi *runway*



light yang sesuai dengan kondisi operasional Bandar Udara Mopah Merauke, menghasilkan *Detail Engineering Design* (DED) dan *Bill of Quantity* (BOQ), serta menganalisis kelayakan teknis rancangan yang diusulkan. Metode penelitian yang digunakan adalah *Engineering Design Method* dengan menggunakan VDI 2221 sebagai metode perancangan yang meliputi tahapan *Clarify and Define the Task*, *Determine Functions*, *Search for Solution Principles*, *Divide into Realizable Modules*, dan *Develop Modular Structures*. Teknik pengumpulan data dilakukan melalui observasi lapangan, studi literatur, dokumentasi, dan wawancara. Hasil penelitian berupa rancangan reinstalasi *runway light* menggunakan dua *circuit* yang terdiri atas *runway edge light*, *threshold light*, dan *runway end light*, jaringan kabel primer FL2XCY 1×6 mm², kabel sekunder NYY 2×1,5 mm², penyesuaian posisi dan elevasi *pedestal*, penempatan *isolation transformer* pada *transformer pit*, sistem *grounding*, DED, BOQ, serta analisis *feasibility* berdasarkan persyaratan teknis dan regulasi yang berlaku. Hasil analisis menunjukkan bahwa rancangan reinstalasi *runway light* telah memenuhi kebutuhan teknis dan operasional Bandar Udara Mopah Merauke serta dinilai layak untuk diterapkan sebagai acuan pelaksanaan reinstalasi sesuai spesifikasi teknis dan regulasi yang berlaku.

Kata Kunci: Runway Light, Reinstalasi, Engineering Design Method, VDI 2221, Detail Engineering Design (DED), Bill of Quantity (BOQ), Feasibility



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

PENDAHULUAN

Sistem penerangan bandar udara (*Airfield Lighting System/AFL*) merupakan salah satu fasilitas pendukung keselamatan penerbangan yang berfungsi memberikan informasi visual kepada penerbang selama proses pendaratan, lepas landas, dan pergerakan pesawat di area bandar udara. Salah satu bagian penting dari AFL adalah sistem *runway light*, yang terdiri atas *runway edge light*, *threshold light*, dan *runway end light*. Sistem tersebut memberikan informasi visual mengenai batas dan arah landasan pacu, terutama pada malam hari dan kondisi jarak pandang terbatas. Oleh karena itu, keandalan sistem *runway light* menjadi salah satu aspek penting dalam menunjang keselamatan dan kelancaran operasional penerbangan (Keke, 2019; ICAO Annex 14, 2004). Bandar Udara Mopah Merauke memiliki *runway* 16-34 yang dilengkapi dengan sistem *runway light*. Sistem tersebut menggunakan dua rangkaian (*circuit*), yaitu Circuit 1 dan Circuit 2. Masing-masing *circuit* menghubungkan *runway edge light*, *threshold light*, dan *runway end light* dalam satu rangkaian seri (*series loop*) yang disuplai oleh *Constant Current Regulator* (CCR). Dengan konfigurasi tersebut, kondisi jaringan kabel primer menjadi salah satu faktor yang berpengaruh terhadap keandalan sistem karena gangguan pada jalur kabel dapat menyebabkan terganggunya suplai ke seluruh lampu dalam satu *circuit*.

Kabel primer FL2XCY pada sistem *runway light* di Bandar Udara Mopah telah beroperasi sejak reinstalasi tahun 2010. Selama pengoperasiannya, terjadi beberapa kasus pencurian *isolation transformer* yang disertai kerusakan atau pemutusan kabel primer. Kondisi tersebut menyebabkan dilakukannya penggantian sebagian segmen dan penyambungan (*jumper*) pada kabel yang mengalami kerusakan. Bertambahnya titik sambungan dapat menjadi titik lemah yang berpotensi memengaruhi keandalan dan kondisi isolasi kabel primer. Selain itu, pekerjaan *overlay* landasan pacu yang dilakukan beberapa kali sejak tahun 2010 menyebabkan perubahan elevasi permukaan *runway*, sehingga posisi *pedestal* lampu perlu disesuaikan kembali. Kondisi *isolation transformer* yang berada pada lokasi yang berpotensi memudahkan akses juga menjadi pertimbangan untuk merencanakan penempatan *isolation transformer* pada *transformer pit* di bawah atau berdekatan dengan posisi lampu. Permasalahan tersebut diperkuat oleh hasil pengukuran tahanan isolasi kabel primer FL2XCY pada Circuit 1 dan Circuit 2. Hasil pengukuran menunjukkan nilai tahanan isolasi ±20 MΩ dengan panjang *circuit* primer sebesar 5.890 m. Berdasarkan Peraturan Direktur Jenderal Perhubungan Udara Nomor



PR 26 Tahun 2022, untuk panjang *circuit* 3.000–6.000 m, nilai tahanan isolasi yang dipersyaratkan adalah minimal 40 MΩ. Dengan demikian, nilai hasil pengukuran belum memenuhi persyaratan yang berlaku dan menunjukkan adanya penurunan kondisi isolasi pada kabel primer.

Berdasarkan kondisi tersebut, diperlukan rancangan reinstalasi sistem *runway light* yang tidak hanya mempertimbangkan penggantian kabel primer, tetapi juga penyesuaian jalur instalasi, posisi *pedestal*, serta penempatan *isolation transformer* sesuai kondisi lapangan dan persyaratan teknis. Penelitian ini menggunakan metode VDI 2221 untuk menghasilkan solusi rancangan secara sistematis. Hasil perancangan meliputi konfigurasi sistem *runway light*, *Detail Engineering Design* (DED), *Bill of Quantity* (BOQ), dan analisis kelayakan teknis berdasarkan kebutuhan daya serta kapasitas CCR yang tersedia. Penelitian ini bertujuan menghasilkan rancangan reinstalasi sistem *runway light* 16-34 di Bandar Udara Mopah Merauke yang memenuhi persyaratan teknis dan dapat menjadi dasar pelaksanaan reinstalasi.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini merupakan penelitian rekayasa (*engineering design research*) yang bertujuan menghasilkan rancangan teknis sebagai solusi terhadap permasalahan pada sistem *runway light* di Bandar Udara Mopah Merauke. Pendekatan yang digunakan adalah *engineering design method* dengan mengacu pada metode VDI 2221. Metode VDI 2221 digunakan untuk melakukan proses perancangan secara sistematis dan terstruktur mulai dari identifikasi permasalahan hingga menghasilkan dokumen perancangan (Jänsch & Birkhofer, 2006). Data yang digunakan dalam penelitian diperoleh melalui *A runway light*. Data tersebut digunakan sebagai dasar dalam mengidentifikasi kondisi *existing*, menentukan kebutuhan rancangan, serta menyusun spesifikasi teknis sistem yang akan dirancang. Tahapan perancangan mengadaptasi lima tahapan utama VDI 2221, yaitu (1) *Clarify and Define the Task* untuk mengidentifikasi permasalahan, kebutuhan, dan spesifikasi rancangan; (2) *Determine Functions and Their Structure* untuk menentukan fungsi utama dan fungsi pendukung sistem *runway light*; (3) *Search for Solution Principles and Their Combinations* untuk menentukan prinsip dan konsep solusi yang sesuai; (4) *Divide into Realizable Modules* untuk membagi rancangan menjadi modul-modul yang dapat direalisasikan; dan (5) *Develop Modular Structures and Product Documents* untuk mengembangkan struktur rancangan serta menyusun dokumen hasil perancangan.

HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

Hasil Penelitian

Gambaran Objek Penelitian

Objek penelitian adalah sistem *runway light* di Bandar Udara Mopah Merauke pada landas pacu 16/34 dengan panjang 2.500 m dan lebar 45 m. Sistem terdiri atas *runway edge light*, *threshold light*, dan *runway end light* yang disuplai CCR melalui kabel primer FL2XCY dan *isolating transformer*. Hasil pengukuran menunjukkan tahanan isolasi kabel primer berada di bawah persyaratan PR 26 Tahun 2022, disertai kondisi fisik instalasi yang memerlukan evaluasi. Oleh karena itu, penelitian difokuskan pada perancangan reinstalasi *runway light* yang menghasilkan DED, BOQ, dan analisis *feasibility* untuk meningkatkan keandalan dan keselamatan operasional.

Pembahasan Perancangan

Clarify and Define the Task

Tahap *Clarify and Define the Task* merupakan tahap awal metode VDI 2221 yang bertujuan untuk mengidentifikasi permasalahan, memahami kondisi eksisting, serta menetapkan

kebutuhan perancangan (*design requirements*) pada sistem *runway light*. Data pada tahap ini diperoleh melalui studi literatur, observasi lapangan, dan wawancara dengan teknisi listrik Bandar Udara Mopah Merauke.

1. Hasil Studi Literatur. Studi literatur dilakukan untuk memperoleh dasar teori, spesifikasi teknis, serta standar dan regulasi yang digunakan dalam perancangan. Sistem *runway light* yang menjadi objek penelitian terdiri atas *runway edge light*, *threshold light*, dan *runway end light*. Acuan perancangan meliputi ICAO Annex 14, SKEP 114 Tahun 2002, PR 21 Tahun 2023, KP 262 Tahun 2017, dan PR 26 Tahun 2022. Kajian juga mencakup spesifikasi kabel primer, kabel sekunder, *isolating transformer*, serta CCR sebagai dasar perhitungan dan penyusunan rancangan.
2. Hasil Observasi Lapangan. Hasil observasi menunjukkan bahwa sistem *runway light* menggunakan konfigurasi dua *circuit* dengan kabel primer FL2XCY $1 \times 6 \text{ mm}^2$ dan kabel sekunder NYY $2 \times 1,5 \text{ mm}^2$. Pada jalur kabel primer ditemukan beberapa sambungan (*jumper*) akibat perbaikan kerusakan kabel. Selain itu, *lamp base runway edge light* mengalami penurunan elevasi terhadap permukaan *runway* akibat pekerjaan *overlay* yang telah dilakukan sebanyak tiga kali.

Pengukuran tahanan isolasi pada *circuit 1* dan *circuit 2* menghasilkan nilai sekitar 20 M Ω . Nilai tersebut belum memenuhi persyaratan PR 26 Tahun 2022, yaitu minimum 40 M Ω untuk rangkaian dengan panjang 3.000–6.000 m. Kondisi tersebut menunjukkan adanya penurunan kualitas isolasi kabel primer yang menjadi salah satu dasar perlunya dilakukan reinstalasi.

Tabel 1. Kualitas Isolasi Kabel Primer

Parameter	Circuit 1	Circuit 2	Persyaratan
Tahanan isolasi	$\pm 20 \text{ M}\Omega$	$\pm 20 \text{ M}\Omega$	$\geq 40 \text{ M}\Omega$
Panjang circuit	$\pm 5.890 \text{ m}$	$\pm 5.890 \text{ m}$	3.000–6.000 m

3. Hasil Wawancara. Wawancara dengan teknisi listrik Bandar Udara Mopah Merauke memberikan informasi mengenai riwayat gangguan sistem *runway light*. Gangguan yang terjadi antara lain kerusakan kabel primer yang memerlukan penyambungan (*jumper*) serta pencurian *isolating transformer*. Kondisi tersebut berpengaruh terhadap keandalan sistem dan menjadi pertimbangan dalam menentukan solusi perancangan. Berdasarkan pengalaman pemeliharaan, penempatan *isolating transformer* pada *transformer pit* di bawah lampu dipertimbangkan sebagai salah satu upaya untuk meningkatkan keamanan dan mempermudah pemeliharaan.
4. Spesifikasi Kebutuhan Perancangan (*Design Requirements*). Berdasarkan hasil studi literatur, observasi, dan wawancara, ditetapkan beberapa kebutuhan perancangan, yaitu mempertahankan konfigurasi dua *circuit*, menyesuaikan tata letak dan elevasi lampu dengan standar yang berlaku, mengganti kabel primer dan sekunder, serta menyesuaikan konstruksi *trench* dengan SKEP 114 Tahun 2002. *Lamp base* dirancang kembali untuk mengatasi perubahan elevasi akibat *overlay runway*, sedangkan *isolating transformer* ditempatkan pada *transformer pit* di bawah setiap lampu untuk meningkatkan keamanan instalasi. Hasil akhir perancangan berupa *Detail Engineering Design* (DED), *Bill of Quantity* (BOQ), dan analisis *feasibility*.

Determine Functions and Their Structure

Tahap *Determine Functions and Their Structure* bertujuan menentukan fungsi yang harus dipenuhi oleh sistem *runway light* berdasarkan kebutuhan perancangan yang telah diperoleh

pada tahap sebelumnya. Fungsi sistem dibagi menjadi fungsi utama dan fungsi pendukung sebagai dasar dalam menentukan komponen dan struktur rancangan.

1. Fungsi Utama (*Main Function*). Fungsi utama sistem *runway light* adalah memberikan panduan visual kepada pilot selama proses lepas landas, pendaratan, dan pergerakan pesawat di landas pacu. Fungsi tersebut diwujudkan melalui *runway edge light* sebagai penanda batas sisi kiri dan kanan *runway*, *threshold light* sebagai penanda awal bagian *runway* yang digunakan untuk pendaratan, serta *runway end light* sebagai penanda akhir *runway*. Ketiga jenis lampu tersebut bekerja sebagai satu kesatuan untuk memberikan informasi visual mengenai batas dan arah landas pacu.
2. Fungsi Pendukung (*Supporting Function*). Untuk menunjang fungsi utama, sistem memiliki beberapa fungsi pendukung, yaitu:
 - a. Menyalurkan daya listrik dan menjaga kontinuitas *circuit*.
 - b. Melindungi kabel dan komponen sistem.
 - c. Sistem harus mampu menempatkan lampu sesuai posisi, jarak, dan elevasi yang dipersyaratkan.

Search for Solution Principles and Their Combinations

Tahap *Search for Solution Principles and Their Combinations* bertujuan menentukan prinsip solusi yang dapat memenuhi fungsi sistem berdasarkan kebutuhan perancangan, kondisi eksisting, serta standar dan regulasi yang berlaku. Hasil tahap ini menjadi dasar dalam penyusunan *Detail Engineering Design* (DED). Konsep solusi yang ditetapkan meliputi penggunaan kembali jalur kabel existing dengan penyesuaian terhadap ketentuan SKEP 114 Tahun 2002, penggunaan kabel primer FL2XCY $1 \times 6 \text{ mm}^2$ dan kabel sekunder NYY $2 \times 1,5 \text{ mm}^2$, serta mempertahankan CCR existing setelah dilakukan evaluasi kapasitas. Jalur kabel menggunakan *trench* sesuai *Trench Size 2* SKEP 114 Tahun 2002 untuk memberikan perlindungan terhadap kabel dan mempermudah pemeliharaan. Pada bagian konstruksi, *lamp base* dirancang kembali untuk menyesuaikan elevasi akibat *overlay runway*. *Isolating transformer* ditempatkan pada *transformer pit* di bawah lampu sebagai upaya meningkatkan keamanan dan mengurangi risiko pencurian serta kerusakan kabel. Sistem grounding tetap dipertahankan dan disesuaikan dengan panjang jalur kabel hasil rancangan. Konfigurasi *runway edge light*, *threshold light*, dan *runway end light* tetap mempertahankan posisi existing karena tata letaknya masih memenuhi ketentuan yang berlaku. Namun, unit lampu direncanakan untuk diganti berdasarkan kondisi fisik dan keterbatasan *spare part*.

Tabel 2. Komponen, Solusi, dan Dasar Pemilihan

Komponen	Konsep Solusi	Dasar Pemilihan
alur kabel	Mengikuti jalur existing	Menyesuaikan kondisi lapangan dan meminimalkan perubahan instalasi
CCR	Mempertahankan CCR existing	Kondisi dan kapasitas CCR masih memenuhi kebutuhan sistem
Kabel primer	FL2XCY $1 \times 6 \text{ mm}^2$	Sesuai kebutuhan sistem <i>series circuit</i>
Kabel sekunder	NYY $2 \times 1,5 \text{ mm}^2$	Sesuai sebagai penghantar dari <i>transformer</i> ke lampu
<i>Trench</i>	<i>Trench Size 2</i>	Mengacu pada SKEP 114 Tahun 2002
<i>Lamp base</i>	Pembangunan kembali	Menyesuaikan elevasi <i>runway</i>
<i>Transformer pit</i>	<i>Transformer</i> ditempatkan di bawah lampu	Meningkatkan keamanan dan mengurangi risiko pencurian
<i>Grounding</i>	Mengikuti jalur sistem	Menyesuaikan panjang jalur kabel hasil rancangan
<i>Runway light</i>	Penggantian unit dengan posisi existing	Kondisi beberapa lampu mengalami kerusakan, sedangkan tata letak masih sesuai standar

Divide into Realizable Modules

Tahap *Divide into Realizable Modules* bertujuan mengelompokkan konsep solusi yang telah dipilih pada tahap sebelumnya ke dalam beberapa modul perancangan. Pembagian modul dilakukan agar penyusunan *Detail Engineering Design* (DED), *Bill of Quantity* (BOQ), dan analisis kelayakan dapat dilakukan secara sistematis.

Tabel 3. Modul Perancangan dan Ruang Lingkup

No.	Modul Perancangan	Ruang Lingkup
1	Sistem <i>runway light</i>	<i>Runway edge light, threshold light, runway end light</i> , tata letak, dan konfigurasi dua <i>circuit</i>
2	Sistem kabel	Kabel primer, kabel sekunder, <i>grounding</i> , jalur kabel, panjang kabel, dan rugi-rugi daya
3	Sistem CCR	Evaluasi kapasitas CCR berdasarkan kebutuhan beban rancangan
4	Sistem <i>trench</i>	Jalur kabel, dimensi <i>trench</i> , dan perhitungan volume pekerjaan
5	Sistem pondasi dan dudukan lampu	Perancangan <i>lamp base</i> dan penyesuaian elevasi terhadap <i>runway</i>
6	Sistem <i>transformer pit</i>	Konstruksi <i>transformer pit</i> dan penempatan <i>isolating transformer</i> di bawah lampu

Pembagian tersebut menghasilkan enam modul yang saling berkaitan dalam membentuk sistem *runway light* secara keseluruhan. Setiap modul selanjutnya dikembangkan menjadi gambar teknik, spesifikasi, dan perhitungan yang digunakan dalam penyusunan DED dan BOQ.

Develop the Overall Layout

Tahap *Develop the Overall Layout* merupakan tahap pengembangan konsep solusi menjadi rancangan teknis secara keseluruhan. Hasil pada tahap ini meliputi *Detail Engineering Design* (DED), *Bill of Quantity* (BOQ), dan analisis *feasibility* sebagai hasil akhir perancangan instalasi sistem *runway light* di Bandar Udara Mopah Merauke.

Hasil Detail Engineering Design (DED)

Sistem Runway Light

Rancangan menggunakan 77 runway edge light, 12 threshold light, dan 16 runway end light. Lampu turning pad sebanyak 10 unit tidak termasuk pekerjaan instalasi, tetapi tetap diperhitungkan dalam beban CCR karena masih terhubung pada sistem yang sama. Runway edge light menggunakan daya 150 W per unit, threshold/runway end menggunakan 150 W per unit, sedangkan turning pad light menggunakan 45 W per unit.

Tabel 4. Sistem Runway Light

Jenis	Jumlah	Daya/unit	Beban
Runway edge light	77	150 W	11.550 W
Threshold light	12	150 W	1.800 W
Runway end light	16	150 W	2.400 W
Turning pad light	10	45 W	450 W

Dalam pembagian dua circuit, beban runway edge light adalah 5.775 W per circuit, threshold dan runway end sebesar 2.100 W per circuit, dan turning pad sebesar 225 W per circuit. Total beban yang digunakan dalam analisis adalah 8.100 W.

Sistem Kabel Primer dan Sekunder

Kabel primer yang digunakan adalah FL2XCY 1×6 mm², 3,6/6 kV, dengan arus nominal 6,6 A. Hasil perhitungan jalur menunjukkan kebutuhan kabel primer sebesar 6.505 m per circuit. Untuk dua circuit diperoleh 13.010 m. Dalam pelaksanaan, kebutuhan ditetapkan

menjadi 13.500 m untuk memperhitungkan tambahan panjang akibat jointing dan belokan jalur instalasi. Kebutuhan kabel sekunder NYY 2x1,5 mm² adalah 210 m. Kabel sekunder digunakan untuk menghubungkan isolation transformer dengan unit lampu. Selain itu, rancangan mencakup protective earth dan grounding sesuai kebutuhan sistem yaitu 6.505 M. Kebutuhan *Primary Connector Kit* ditentukan berdasarkan jumlah *isolation transformer* yang digunakan pada sistem *runway light*. Jumlah lampu yang dirancang terdiri dari 115 unit. Penggunaan Two Pole Plug bertujuan untuk mempermudah proses pemasangan, pelepasan, maupun penggantian lampu apabila terjadi kerusakan, tanpa perlu memotong kabel sekunder. Berdasarkan jumlah lampu yang dirancang, kebutuhan Two Pole Plug juga ditentukan sebanyak 105 set.

Perhitungan Resistansi dan Losses

- Perhitungan Resistansi Kabel Primer

$$R_{pri} = \rho \frac{l_p}{A_p}$$

$$A_p = 6 \text{ mm}^2$$

$$l_p = 13,500 \text{ m}$$

$$R_{pri} = 0.018 \frac{13.500}{6} = 40,5 \Omega$$

Perhitungan Resistansi Kabel Sekunder

$$R_{sek} = \rho \frac{l_s}{A_s}$$

$$R_{sek} = 0.018 \frac{210}{1,5}$$

$$R_{sek} = 0.018 \times 140 = 2,52 \Omega$$

Total Losses Sistem primer dan sekunder

$$\text{Losses}_{\text{total}} = 1.764,18 + 109,7$$

$$= 1.873,88 \text{ W} = 1,87 \text{ kW}$$

- Losses Kabel Primer

$$P_{\text{loss}} = I^2 R_p$$

$$I = 6,6^2$$

$$R_p = 40,5$$

$$\text{Losses}_{\text{pri}} = 6,6^2 \times 40,5 = 1.764,18 \text{ W}$$

- Losses Kabel sekunder

$$P_{\text{loss}} = I^2 R_s$$

$$\text{Losses}_{\text{sec}} = 6,6^2 \times 2,52$$

$$= 43,56 \times 2,52 = 109,7 \text{ W}$$

Analisis Beban CCR

Daya aktif yang harus disuplai CCR merupakan penjumlahan beban lampu sebesar 8.100 W dan losses kabel sebesar 1.873,88 W, sehingga diperoleh 9.973,88 W atau sekitar 9,97 kW. Dengan faktor daya 0,8, kebutuhan daya semu adalah 12,46 kVA, berikut perhitungan loading CCR:

$$\text{Loading} = \frac{P_{CCR}}{S_{CCR}} \times 100\%$$

$$P_{CCR} = 12,46 \text{ kVA}$$

$$S_{CCR} = 25 \text{ kVA}$$

$$\text{Loading} = \frac{12,46}{25} \times 100\% = 49,84\%$$

Tabel 5. Beban CCR

Parameter	Hasil
Total beban lampu	8,10 kW
Total losses kabel	1,87 kW
Daya aktif CCR	9,97 kW
Kebutuhan daya semu	12,46 kVA
Kapasitas CCR	25 kVA
Loading	49,84%

Sistem Cable Trench

Rancangan cable trench menggunakan Trench Size 2 yang mengacu pada SKEP Nomor 114 Tahun 2002. Dimensi yang digunakan adalah lebar atas 0,7 m, lebar bawah 0,6 m, dan kedalaman 0,8 m. Panjang total galian yang digunakan dalam perhitungan adalah 6.105 m. Luas penampang galian diperoleh dari luas trapesium sebesar 0,52 m². Dengan panjang 6.105 m, volume galian kabel adalah 3.174,6 m³. Rancangan juga menghasilkan kebutuhan pasir pelindung kabel sebesar 793,65 m³ dan batu bata merah sebanyak 61.050 buah.

Tabel 6. Luas Penampang Galian

Komponen	Hasil
Lebar atas	0,70 m
Lebar bawah	0,60 m
Kedalaman	0,80 m
Panjang total galian	6.105 m
Luas penampang	0,52 m ²
Volume galian	3.174,6 m ³
Pasir pelindung	793,65 m ³
Bata merah	61.050 buah

Pondasi Runway Light

Pondasi dirancang kembali untuk menyesuaikan posisi dan elevasi lampu terhadap kondisi *runway* serta mendukung penempatan *transformer pit* di bawah dudukan lampu. Hasil perancangan pondasi adalah:

Tabel 7. Hasil Perancangan Pondasi

Komponen	Hasil
Panjang pondasi	0,6 m
Lebar pondasi	0,6 m
Tinggi pondasi	0,1 m
Jumlah pondasi	105 unit
Volume beton satu pondasi	0,0358 m ³
Total volume beton pondasi	3,76 m ³

Transformer Pit

Transformer pit dirancang sebagai tempat pemasangan *isolation transformer* yang ditempatkan tepat di bawah dudukan lampu. Penempatan tersebut bertujuan meningkatkan keamanan *isolation transformer* serta mengurangi risiko kerusakan dan pencurian. Hasil perancangan diperoleh:

Tabel 8. Hasil Perancangan Transformer Pit

Komponen	Hasil
Panjang luar	0,6 m
Lebar luar	0,6 m
Tinggi luar	0,425 m
Panjang ruang dalam	0,425 m
Lebar ruang dalam	0,4 m
Tinggi ruang dalam	0,3 m
Jumlah <i>transformer pit</i>	105 unit
Volume beton satu <i>transformer pit</i>	0,105 m ³
Total volume beton	11,025 m ³

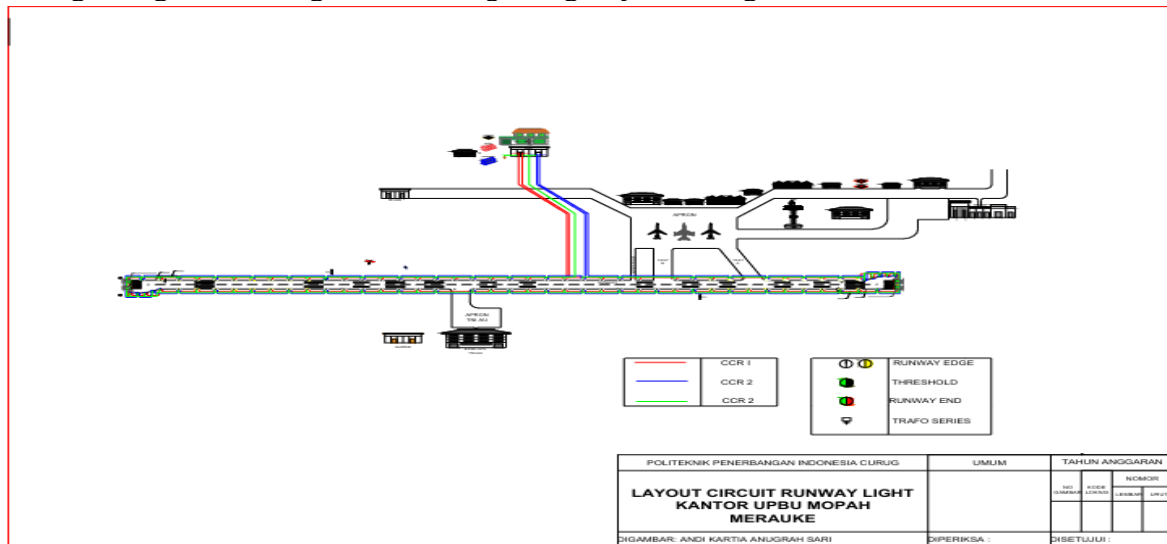
Pengujian Hasil Rancangan

Pengujian hasil rancangan dilakukan untuk mengevaluasi hasil perancangan *runway light* yang telah dikembangkan berdasarkan DED, BOQ, dan analisis *feasibility*. Hasil rancangan yang

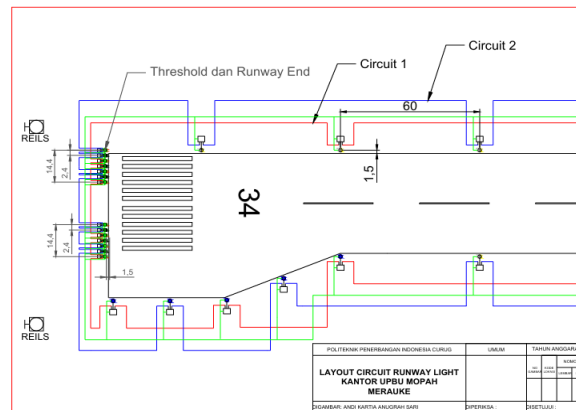
diperoleh meliputi layout sistem *runway light*, kebutuhan material dan pekerjaan, serta hasil evaluasi kesesuaian terhadap standar dan kapasitas sistem kelistrikan.

Hasil Rancangan Layout Runway Light (DED)

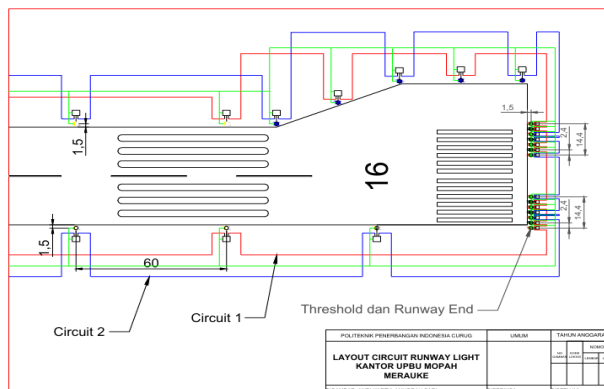
Berdasarkan hasil perancangan, sistem *runway light* menggunakan konfigurasi *two series circuit*, yaitu Circuit 1 dan Circuit 2. Rancangan terdiri atas *runway edge light* sebanyak 77 unit, *threshold light* sebanyak 12 unit, dan *runway end light* sebanyak 16 unit. Jalur kabel primer dirancang mengikuti konfigurasi *existing* dengan pemasangan melalui *cable trench*.



Gambar 1. Layout Circuit Runway Light Kantor UPBU Mopah Merauke



Gambar 2. hasil perancangan, sistem *runway light*



Gambar 3. hasil perancangan, sistem *runway light*

Konfigurasi penempatan lampu mempertahankan tata letak *existing* dengan jarak antar *runway edge light* sebesar 60 m dan jarak lampu terhadap tepi *runway* sebesar 1,5 m. Rancangan juga dilengkapi sistem *grounding* menggunakan BC 50 mm² serta penempatan *isolation transformer* pada *transformer pit* di bawah dudukan lampu.

Hasil Bill of Quantity (BOQ)

BOQ disusun berdasarkan hasil perhitungan dan gambar DED yang telah dirancang. BOQ memuat kebutuhan material, pekerjaan sipil, pekerjaan pembongkaran, serta pekerjaan pemasangan yang diperlukan dalam pelaksanaan reinstalasi sistem *runway light*.

Tabel 9. Pekerjaan Pengadaan Material

No	Pengadaan Material	Volume	Satuan
Pekerjaan Pengadaan Material			
1.	Kabel FL2XCY 1x6 sqmm	13.500	m
2.	Primary Connector Kit	115	Buah
3.	Two pole plug	105	buah
4.	Kawat <i>grounding</i> BC 50 sqmm	6.505	m
5.	Kabel protective earth (PE)	105	m
5.	Kabel NYY 2x1,5 mm ² .	210	m
6.	Runway edge light	77	set
7.	Threshold light	12	set
8.	Runway end light	16	set
9.	Isolating transformer	105	unit
Material Pekerjaan Galian Size I			
1.	Pasir urug	787,15	m ³
2.	Bata merah	60.550	Buah
Pengadaan Pondasi Dan Tranformer Pit			
1.	Beton pondasi <i>runway light</i>	3,76	m ³
2.	Beton <i>Transformer pit</i>	11,025	m ³
3.	Pipa PVC conduit	210	m
Pekerjaan Sipil			
1.	Galian kabel	3.174,6	m ³
2.	Urugan pasir pelindung kabel	793,65	m ³
3.	Pemasangan bata merah pelindung kabel	61.050	Buah
4.	Urugan tanah kembali	2.182,54	m ³
5.	Pembuatan/pegecoran pondasi <i>runway light</i>	3,76	m ³
6.	Pembuatan <i>Transformer pit</i>	11,025	m ³
Pekerjaan Pembongkaran			
1.	Pembongkaran <i>Runway edge light, threshold dan runway end light existing</i>	105	unit
2.	Pembongkaran <i>isolation transformator Runway edge lighting, threshold dan runway end light</i>	105	unit
3.	Pembongkaran kabel primer existing	5.530	m
Pekerjaan Pemasangan			
1.	Penarikan kabel primer baru	13.500	m
2.	Penarikan kabel sekunder baru	210	m
3.	Penarikan Bare Copper (BC) 50 mm ²	6.505	m
4.	Penarikan kabel Protective Earth (PE)	105	m
5.	Pemasangan <i>Primary Connector Kit</i>	115	Buah
6.	Pemasangan two pole plug	105	Buah
7.	Pemasangan <i>isolation transformator runway edge, threshold dan runway end</i>	105	unit
8.	Pemasangan <i>runway edge, threshold dan runway end</i>	105	unit
9.	Pemasangan pondasi dan <i>Transformer pit</i>	105	unit

Hasil Analisis *Feasibility*

Analisis *feasibility* dilakukan untuk mengetahui kesesuaian hasil rancangan terhadap standar teknis dan regulasi yang digunakan.

Tabel 10. Analisis *Feasibility*

No	Parameter Uji	Acuan Standar	Hasil Rancangan	Kesesuaian
1.	Jarak antar lampu <i>runway</i> edge	SKEP 114 Tahun 2002 dan PR 21 Tahun 2023 = 60 M	60 M	Sesuai
2.	Jarak dari tepi <i>runway</i> ke lampu edge	PR 21 Tahun 2023 = Maks 3 M	1.5 M	Sesuai
3.	Jarak dari tepi <i>runway</i> ke lampu <i>Threshold</i>	PR 21 Tahun 2023 = Maks 3 M	1.5 M	Sesuai
4.	Jarak antar lampu <i>threshold</i> dan <i>runway end</i>	Gambar SKEP 114 = 2,4 M	2.4 M	Sesuai
5.	Jalur instalasi kabel	SKEP 114 Tahun 2002	Mengikuti gambar standar	Sesuai
6.	Desain/dimensi pondasi dudukan <i>Runway edge light</i>	SKEP 114 Tahun 2002 (gambar pondasi <i>runway edge</i>)	Mengikuti dimensi standar	Sesuai
7.	Dimensi <i>Transformer pit</i>	SKEP 114 Tahun 2002 (gambar pondasi <i>runway edge</i>)	Mengikuti dimensi standar	Sesuai
8.	Dimensi <i>cable trench</i>	SKEP 114 Tahun 2002 (gambar <i>cable trench size 2</i>)	Mengikuti dimensi standar	Sesuai

Berdasarkan hasil evaluasi, seluruh parameter rancangan dinyatakan sesuai dengan acuan SKEP Nomor 114 Tahun 2002, PR Nomor 21 Tahun 2023, dan ICAO Annex 14. Kesesuaian tersebut menunjukkan bahwa rancangan telah memenuhi persyaratan teknis dari aspek tata letak, instalasi kabel, dan konstruksi pendukung sistem *runway light*. Dari aspek kelistrikan, total beban lampu hasil rancangan sebesar 8,1 kW dengan total rugi-rugi kabel sebesar 1,87 kW. Kebutuhan daya semu sistem sebesar 12,46 kVA, sedangkan kapasitas CCR *existing* sebesar 25 kVA. Dengan demikian, tingkat pembebanan CCR sebesar 49,84%, sehingga CCR *existing* masih mampu melayani beban sistem hasil rancangan. Berdasarkan keseluruhan hasil pengujian, rancangan reinstalasi *runway light* dinyatakan **layak** secara teknis dan kelistrikan. Rancangan juga telah divalidasi oleh Koordinator Unit/Kanit terkait dan dinyatakan layak untuk digunakan sebagai acuan penyusunan DED dan BOQ serta pelaksanaan reinstalasi sistem *runway light* di Bandar Udara Mopah Merauke.

Pembahasan

Nilai tahanan isolasi kabel primer sebesar $\pm 20 \text{ M}\Omega$ yang jauh di bawah persyaratan minimum $40 \text{ M}\Omega$ pada PR 26 Tahun 2022 mengindikasikan bahwa penurunan kualitas isolasi bukan semata fungsi usia kabel, melainkan juga akumulasi titik sambungan (*jumper*) akibat perbaikan berulang pasca-insiden pencurian isolation transformer. Pola ini sejalan dengan temuan Yani dkk. (2022) dalam kajian kinerja CCR terhadap kuat penerangan runway light di Bandara Sultan Thaha Jambi, yang menunjukkan bahwa kondisi jaringan kabel primer dan komponen pendukungnya secara langsung memengaruhi keandalan suplai daya pada sistem series circuit. Dengan demikian, strategi reinstalasi yang tidak hanya mengganti kabel tetapi juga merelokasi isolation transformer ke dalam transformer pit merupakan langkah yang tepat untuk mengatasi akar masalah, bukan sekadar gejalanya, karena mengurangi kemungkinan berulangnya siklus kerusakan-penyambungan-penurunan isolasi yang selama ini terjadi.

Pendekatan relokasi isolation transformer ke transformer pit sejalan dengan prinsip proteksi komponen kelistrikan bandar udara yang diatur dalam ICAO Doc 9157 Part 5 tentang Electrical Systems (International Civil Aviation Organization, 2017) maupun FAA Advisory

Circular 150/5340-30J (Federal Aviation Administration, 2018), yang keduanya menekankan pentingnya penempatan komponen kritis pada lokasi yang meminimalkan akses tidak sah sekaligus mempermudah inspeksi rutin. Langkah ini juga sebanding dengan semangat penelitian Andreansyah, Shalahuddin, dan Widhining K. (2023) mengenai studi kelayakan sistem grounding, yang menegaskan bahwa keandalan proteksi kelistrikan tidak dapat dipisahkan dari kualitas konstruksi fisik penopangnya. Pada penelitian ini, sistem grounding menggunakan BC 50 mm² yang disesuaikan dengan panjang jalur kabel hasil rancangan turut memperkuat lapisan proteksi tersebut secara menyeluruh, sejalan dengan pendekatan yang direkomendasikan pada kedua acuan tersebut.

Dari sisi kelistrikan, tingkat pembebanan CCR hasil rancangan sebesar 49,84% dari kapasitas 25 kVA menunjukkan margin keandalan yang cukup besar, sehingga CCR existing masih dapat menampung penambahan beban di masa mendatang, misalnya apabila turning pad light turut direinstalasi atau terjadi penambahan unit lampu. Margin ini sekaligus membuka ruang perbandingan dengan temuan Akbar dan Saragi (2022), yang menunjukkan bahwa migrasi runway edge light ke teknologi LED di Bandar Udara Minangkabau dapat menurunkan konsumsi daya secara signifikan dibandingkan lampu konvensional. Sekalipun rancangan pada penelitian ini masih mempertahankan jenis lampu existing berdaya 150 W per unit sesuai kondisi eksisting Bandar Udara Mopah Merauke, besarnya margin loading CCR yang tersisa (50,16%) mengindikasikan bahwa migrasi ke LED berpotensi menjadi tahap pengembangan lanjutan yang dapat semakin menekan losses kabel dan memperpanjang usia pakai CCR tanpa memerlukan penambahan kapasitas.

Dibandingkan dengan penelitian reinstalasi alat bantu visual lain pada konteks bandar udara di Indonesia, seperti reinstalasi PAPI oleh Azzahra (2025) di Bandara Budiarto dan oleh Riyanna (2025) di Bandar Udara Internasional Soekarno-Hatta, maupun perencanaan pemasangan MALS oleh Firman dkk. (2023) di Bandar Udara I Gusti Ngurah Rai, penelitian ini menunjukkan karakteristik yang relatif lebih kompleks karena mengintegrasikan tiga permasalahan sekaligus dalam satu rancangan, yaitu degradasi kabel primer, perubahan elevasi runway akibat overlay berulang, dan kerentanan keamanan isolation transformer. Kompleksitas tersebut menjadi alasan kuat bagi pemilihan metode VDI 2221, yang memungkinkan pemecahan masalah multidimensi tersebut ke dalam modul-modul yang dapat direalisasikan secara terpisah namun tetap terintegrasi, sebagaimana ditunjukkan pada pembagian enam modul perancangan (Tabel 3). Pendekatan modular ini juga konsisten dengan praktik pada penelitian perancangan kelistrikan bandar udara lain, seperti Abdullah (2022) dalam penyusunan DED gedung laboratorium dan Arifiansyah, Fahroji, dan Fatra (2022) dalam rancangan pemasangan taxi guidance sign di Bandar Udara Komodo, yang sama-sama menekankan pentingnya tahapan sistematis dari identifikasi kebutuhan hingga dokumen teknis akhir.

Hasil pengujian feasibility yang menunjukkan seluruh delapan parameter tata letak dan konstruksi telah sesuai standar (Tabel 7) memberikan indikasi bahwa strategi mempertahankan jalur dan konfigurasi existing—alih-alih merancang ulang seluruh tata letak dari awal—merupakan pilihan yang efisien dari segi biaya maupun waktu pelaksanaan, tanpa mengorbankan kepatuhan terhadap SKEP 114 Tahun 2002, PR 21 Tahun 2023, dan ICAO Annex 14. Namun demikian, rancangan ini tetap memiliki keterbatasan, antara lain belum memperhitungkan proyeksi kebutuhan daya apabila terjadi migrasi ke LED di masa mendatang serta belum mencakup estimasi biaya siklus hidup (life cycle cost) antara opsi mempertahankan lampu halogen/incandescent existing dengan opsi migrasi LED. Penelitian lanjutan disarankan untuk mengkaji kelayakan ekonomis migrasi teknologi lampu, memperluas evaluasi terhadap ketahanan transformer pit terhadap genangan air pada musim

hujan mengingat karakteristik iklim Merauke, serta menyusun rencana pemeliharaan preventif pascareinstalasi agar penurunan tahanan isolasi seperti yang mendasari penelitian ini tidak terulang di masa mendatang.

KESIMPULAN

Penelitian ini menghasilkan rancangan reinstalasi sistem runway light 16-34 di Bandar Udara Mopah Merauke yang disusun melalui pendekatan metode VDI 2221, mencakup konfigurasi dua circuit dengan 77 runway edge light, 12 threshold light, 16 runway end light, dan 105 isolating transformer, jaringan kabel primer FL2XCY 1×6 mm² sepanjang 13.500 m, kabel sekunder NYY 2×1,5 mm², serta sistem pembumian BC 50 mm² yang mengacu pada ICAO Annex 14 Volume I dan SKEP 114/VI/2002. Proses perancangan menghasilkan dokumen Detail Engineering Design (DED) dan Bill of Quantity (BOQ) yang memuat gambar teknis, jalur kabel, tata letak lampu, konstruksi transformer pit, serta kebutuhan material dan volume pekerjaan, sementara hasil analisis feasibility menunjukkan bahwa seluruh parameter tata letak dan konstruksi telah sesuai dengan SKEP 114 Tahun 2002, PR 21 Tahun 2023, dan ICAO Annex 14, dengan tingkat pembebanan CCR sebesar 49,84% dari kapasitas 25 kVA, sehingga CCR existing masih mampu melayani beban sistem hasil rancangan dan rancangan secara keseluruhan dinyatakan layak secara teknis dan kelistrikan untuk diterapkan. Dengan demikian, hasil rancangan ini dapat menjadi acuan teknis pelaksanaan reinstalasi runway light sesuai kebutuhan Bandar Udara Mopah Merauke, dengan catatan bahwa rancangan perlu dievaluasi kembali apabila terjadi perubahan standar, kondisi eksisting, atau kebutuhan operasional di masa mendatang, termasuk mempertimbangkan kemungkinan migrasi ke teknologi LED serta penyusunan rencana pemeliharaan preventif untuk menjaga keandalan isolasi kabel primer dalam jangka panjang.

DAFTAR PUSTAKA

- Abdullah, A. (2022). Penyusunan Detail Engineering Design (DED) Gedung Laboratorium Lingkungan Hidup Provinsi Kalimantan Utara. *Jurnal Teknik*, 1(1), 29–37.
- Akbar, M. C., & Saragi, A. (2022). Analisa peningkatan efisiensi daya listrik runway edge light di Bandar Udara Minangkabau dengan lampu LED. *Politeknik Penerbangan Indonesia Curug*.
- Andreansyah, C., Shalahuddin, Y., & Widhining K., D. A. (2023). Studi kelayakan sistem grounding instalasi listrik pada Gedung Ulil Albab Uniska Kediri. *Universitas Islam Kediri*.
- Arifiansyah, P. N., Fahroji, & Fatra, O. (2022). Rancangan pemasangan taxi guidance sign alpha di Bandar Udara Komodo Labuan Bajo – Nusa Tenggara. *Politeknik Penerbangan Indonesia*, 221–229.
- Azzahra, S. (2025). *Rancangan reinstalasi Precision Approach Path Indicator runway 30 di Bandara Budiarto* [Tugas akhir, Politeknik Penerbangan Indonesia Curug].
- Direktorat Jenderal Perhubungan Udara. (2002). *Peraturan Direktorat Jenderal Nomor SKEP-114-VI-2002 tentang Konfigurasi MALS PALS DALs*.
- Direktorat Jenderal Perhubungan Udara. (2015). *Peraturan Direktur Jenderal Perhubungan Udara Nomor KP 93 Tahun 2015*.
- Direktorat Jenderal Perhubungan Udara. (2022). *Keputusan Direktur Jenderal Perhubungan Udara Nomor PR 26 Tahun 2022 tentang Pedoman Teknis Operasional Keselamatan Penerbangan Sipil*.
- Direktorat Jenderal Perhubungan Udara. (2023). *Peraturan Direktur Jenderal Perhubungan Udara Nomor PR 21 Tahun 2023 tentang Standar Teknis dan Operasional Peraturan Keselamatan Penerbangan Sipil Bagian 139 (Manual of Standard CASR Part 139) Aerodrome Daratan*.



- Federal Aviation Administration. (2018). *Advisory Circular 150/5340-30J: Design and installation details for airport visual aids*. U.S. Department of Transportation.
- Firman, D., Wijaya, 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* [Karya tulis ilmiah, Politeknik Penerbangan Indonesia Curug].
- International Civil Aviation Organization. (2004). *Aerodrome design and operations* (Annex 14, Vol. I).
- International Civil Aviation Organization. (2017). *Aerodrome design manual, Part 5: Electrical systems* (Doc 9157, 2nd ed.). ICAO.
- Jänsch, J., & Birkhofer, H. (2006). The development of the guideline VDI 2221 – The change of direction. *9th International Design Conference, DESIGN 2006*, 45–52.
- Keke, Y. (2019). Keandalan sistem penerangan bandar udara terhadap keselamatan penerbangan. *AVIASI Jurnal Ilmiah Kedirgantaraan*, 16(2), 31–42.
- Pemerintah Republik Indonesia. (2009). *Undang-Undang Republik Indonesia Nomor 1 Tahun 2009 tentang Penerbangan*.
- Riyanna, K. K. (2025). *Reinstalasi Precision Approach Path Indicator (PAPI) runway 25R dan 07L di Bandar Udara Internasional Soekarno-Hatta* [Tugas akhir, Politeknik Penerbangan Indonesia Curug].
- Susanto, P. C. (2020). Precision approach light system. *Jurnal Teknik Kedirgantaraan*, 17(1).
- Verein Deutscher Ingenieure. (1993). *VDI 2221: Systematic approach to the development and design of technical systems and products*. VDI-Verlag.
- Yani, R. A., Julianda, E. H., Putra, D. E., & Rizal, C. (2022). Kinerja CCR terhadap kuat penerangan lampu landasan pacu pesawat di Bandara Sultan Thaha Jambi. *Universitas Palembang*.