

Rancangan Reinstalasi *Precision Approach Path Indicator* menggunakan *Dual Sirkuit Otomatis Runway 25R* Bandar Udara Internasional Soekarno-Hatta

Viyuga Ade Putra Suryana¹ Zulina Kurniawati² Rafi Maulana Prasetyawan³

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

Email: viyugasuryana@gmail.com¹ zulina.kurniawati@ppicurug.ac.id²
rafiprasetyawan@ppicurug.ac.id³

Abstrak

Keandalan sistem *Precision Approach Path Indicator* (PAPI) sangat menentukan keselamatan pendaratan pesawat, khususnya di bandara dengan kepadatan lalu lintas udara tinggi seperti Bandar Udara Internasional Soekarno-Hatta. Saat ini, PAPI pada *runway 25R* masih terhubung dalam satu sirkuit dan disuplai oleh satu unit *Constant current regulator* (CCR), sehingga gangguan pada salah satu komponen dapat menyebabkan seluruh lampu PAPI padam total, sebagaimana terjadi pada insiden padamnya PAPI *runway 25R* pada 9 Oktober 2025 akibat kabel *power* yang terputus. Penelitian ini bertujuan merancang instalasi jaringan PAPI menggunakan konfigurasi dua sirkuit otomatis melalui *selector cabinet* berbasis *Programmable Logic Controller* (PLC) guna meningkatkan keandalan sistem. Metode yang digunakan adalah *Research and Development* (R&D) level 1 yang berfokus pada tahap perancangan tanpa pembuatan produk fisik, dengan teknik pengumpulan data berupa studi literatur, observasi lapangan, dan wawancara terhadap supervisor Unit Visual Aid. Hasil penelitian menunjukkan rancangan dua sirkuit membutuhkan penambahan satu unit CCR berkapasitas 5 kVA dan jalur kabel FL2XCY sepanjang 1.264 meter yang lebih pendek dari jalur eksisting (1.636 meter), sehingga rugi daya kabel primer menurun dari 45,1 W menjadi 43,56 W. Pengujian logika *interlock PLC* melalui simulasi *Human Machine Interface* (HMI) membuktikan sistem mampu mengalihkan suplai daya secara otomatis ke sirkuit cadangan ketika sirkuit utama mengalami gangguan tanpa menyebabkan lampu PAPI padam, dan hasil simulasi ETAP menunjukkan tegangan sistem rancangan (311 V) tetap berada dalam rentang aman dibandingkan kondisi eksisting (316 V). Penelitian ini menghasilkan *Detail Engineering Design* (DED), Rencana Kerja dan Syarat (RKS), serta *Bill of Quantity* (BOQ) yang dapat dijadikan acuan teknis dalam meningkatkan keandalan sistem PAPI di Bandar Udara Internasional Soekarno-Hatta, dengan rekomendasi penelitian lanjutan pada perancangan media komunikasi jaringan *monitoring* secara lebih mendalam.

Kata Kunci: PAPI, Dual Circuit, Constant Current Regulator, Selector Cabinet, PLC.

Abstract

Aircraft landing safety heavily depends on the reliability of the *Precision Approach Path Indicator* (PAPI) system, particularly at high-traffic airports such as Soekarno-Hatta International Airport. The PAPI on *runway 25R* is currently connected to a single circuit and supplied by only one *Constant current regulator* (CCR), meaning a single component failure can cause a total blackout of the PAPI lights, as occurred during an incident on 9 October 2025 caused by a severed power cable. This study aims to design a PAPI network reinstallation using an automatic dual-circuit configuration through a *Programmable Logic Controller* (PLC)-based *selector cabinet* to improve system reliability. The method applied is Level 1 *Research and Development* (R&D), focused on the design stage without physical product fabrication, with data collected through literature review, field observation, and interviews with the Visual Aid Unit supervisor. The results show that the dual-circuit design requires one additional 5 kVA CCR unit and a 1,264-meter FL2XCY cable route, shorter than the existing 1,636-meter route, reducing primary cable power loss from 45.1 W to 43.56 W. Testing of the PLC interlock logic through a *Human Machine Interface* (HMI) simulation confirmed that the system can automatically transfer the power supply to the backup circuit when the main circuit fails without any interruption to the PAPI lights, while ETAP simulation showed the designed system voltage (311 V) remains within a safe range compared to the existing condition (316 V). This research produced a *Detailed Engineering Design* (DED), *Work Plan and Specifications* (RKS), and *Bill of Quantities* (BOQ) that can serve as a technical reference for improving PAPI system reliability at Soekarno-Hatta International



Airport, with further research recommended on the detailed design of the monitoring communication network.

Keywords: *PAPI, Dual Circuit, Constant Current Regulator, Selector Cabinet, PLC.*



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

PENDAHULUAN

Keselamatan penerbangan bergantung pada keandalan seluruh sistem operasional bandar udara, termasuk alat bantu pendaratan visual bagi pilot. Salah satu fasilitas visual aid yang berperan penting dalam menentukan sudut pendekatan pesawat menjelang mendarat adalah *Precision Approach Path Indicator (PAPI)*, yang memberikan panduan visual berupa kombinasi cahaya merah dan putih agar pesawat tetap berada pada jalur lurus (*glide path*) yang aman menuju *runway* (Luwihono, 2016). Sejumlah penelitian telah membahas keandalan sistem *PAPI* dari berbagai aspek. Panjaitan et al. (2020) menganalisis sistem *Constant current regulator (CCR)* sebagai catu daya utama lampu *PAPI* dan menekankan pentingnya kestabilan arus keluaran untuk menjaga intensitas cahaya. Jose et al. (2022) mengembangkan sistem *monitoring* sudut kemiringan *PAPI* berbasis *IoT* untuk mendeteksi penyimpangan sudut secara *real-time*, sementara Nowak et al. (2022) menegaskan bahwa keandalan visual *PAPI* menjadi salah satu prasyarat penting dalam pengembangan sistem kendali otomatis pesawat pada fase pendekatan dan pendaratan. Pada aspek redundansi sirkuit, Simaremare et al. (2023) melakukan penambahan jalur sirkuit D pada sistem *taxiway* di Bandar Udara Internasional I Gusti Ngurah Rai untuk mengurangi beban sirkuit utama hingga tersisa 80% dari kapasitas *CCR*, yang terbukti memperpanjang umur pakai peralatan. Sementara itu, Budi et al. (2024) menganalisis kinerja *CCR* pada *Airfield Lighting System* secara umum, namun belum membahas konfigurasi sirkuit ganda maupun mekanisme pengalihan daya otomatis.

Berdasarkan kajian tersebut, penelitian-penelitian terdahulu umumnya berfokus pada analisis kinerja *CCR*, monitoring sudut *PAPI*, atau penambahan sirkuit untuk pembagian beban, namun belum ada penelitian yang secara khusus merancang sistem dua sirkuit penuh (*full redundancy*) yang dilengkapi *selector cabinet* dan logika *interlock* berbasis *PLC* untuk *PAPI*, khususnya pada *runway* dengan kepadatan lalu lintas udara setinggi Bandar Udara Internasional Soekarno-Hatta. Kesenjangan ini menjadi semakin nyata setelah insiden padamnya lampu *PAPI runway 25R* pada 9 Oktober 2025 akibat kabel *power* yang terputus oleh mesin pemotong rumput, yang menyebabkan penutupan sementara *runway*. Padahal, Bandar Udara Internasional Soekarno-Hatta mencatat lebih dari 450.000 pergerakan pesawat per tahun dan menjadi salah satu bandara dengan kepadatan penerbangan tertinggi di kawasan Asia Tenggara, sehingga satu insiden gangguan *PAPI* berpotensi menimbulkan dampak operasional dan keselamatan yang signifikan. Penelitian ini bertujuan untuk merancang reinstalasi jaringan *PAPI runway 25R* menggunakan konfigurasi dua sirkuit otomatis melalui *selector cabinet* berbasis *PLC*, mencakup perhitungan kebutuhan daya dan rugi daya sistem, penentuan konfigurasi kabel dan tata letak instalasi, serta perancangan logika kendali otomatis perpindahan sirkuit sesuai standar SKEP 114 Tahun 2002 dan ICAO Annex 14, sekaligus mengevaluasi pengaruh penerapan redundansi tersebut terhadap keandalan sistem *PAPI* dalam mencegah kegagalan total.

Penelitian Terdahulu yang Relevan

No	Penulis/ Tahun	Judul	Tujuan	Metode	Hasil	Kontribusi dan Relevansi
1	Panjaitan et al. (2020)	Analisis Sistem <i>Constant current regulator</i> pada Lampu <i>PAPI</i> di Bandar Udara	Menganalisis spesifikasi dan instalasi <i>CCR</i> sebagai catu daya <i>PAPI</i>	Analisis deskriptif lapangan	Diperoleh spesifikasi dan skema instalasi <i>CCR-PAPI</i>	Menjadi dasar perhitungan <i>CCR</i> eksisting dan rancangan pada penelitian ini
2	Simaremar e et al. (2023)	Analisa Penambahan Jalur Circuit D pada Taxiway di Bandar Udara Internasional I Gusti Ngurah Rai	Menambah sirkuit untuk mengurangi beban sirkuit utama	Analisis teknis kelistrikan	Beban <i>CCR</i> utama turun hingga 80% kapasitas, umur pakai meningkat	Dasar pembanding konsep penambahan sirkuit; penelitian ini menerapkan redundansi penuh, bukan pembagian beban
3	Jose et al. (2022)	Rancang Bangun <i>Monitoring Sudut Kemiringan PAPI</i> Menggunakan NodeMCU Berbasis IoT	Memantau sudut kemiringan <i>PAPI</i> secara real-time	Rancang bangun berbasis IoT	Sistem mampu <i>memonitor</i> penyimpangan sudut <i>PAPI</i>	Melengkapi aspek keandalan operasional yang belum mencakup redundansi catu daya
4	Nowak et al. (2022)	<i>The PAPI Lights-Based Vision System for Aircraft Automatic Control during Approach and Landing</i>	Mengembangkan sistem visi berbasis <i>PAPI</i> untuk kendali otomatis pesawat	Studi teknis dan simulasi	<i>PAPI</i> terbukti menjadi acuan visual penting bagi otomasi pendaratan	Menegaskan urgensi keandalan sistem <i>PAPI</i> yang menjadi fokus rancangan ini
5	Budi et al. (2024)	Analisis Sistem <i>Constant current regulator</i> pada <i>Airfield Lighting System</i> di Bandar Udara	Menganalisis kinerja <i>CCR</i> pada sistem AFL	Analisis deskriptif lapangan	Diperoleh gambaran kinerja dan permasalahan umum <i>CCR</i> pada AFL	Memperkuat urgensi penambahan redundansi <i>CCR</i> yang belum dibahas pada penelitian tersebut

METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan metode Research and Development (R&D) level 1 (Sugiyono, 2020), yang berfokus pada tahap perancangan sistem tanpa sampai pada pembuatan produk fisik maupun produksi massal. Tahapan penelitian meliputi enam langkah utama, yaitu identifikasi potensi dan masalah, pengumpulan data, desain produk, validasi desain, revisi desain, dan penetapan desain tervalidasi. Penelitian dilaksanakan di Bandar Udara Internasional Soekarno-Hatta pada *runway 25R* yang memiliki sistem *PAPI*, dengan pelaksanaan pada bulan Januari sampai Agustus 2026. Data penelitian dikumpulkan melalui tiga teknik, yaitu studi literatur terhadap jurnal dan peraturan pemerintah terkait *Airfield Lighting System (AFL)* dan *PAPI*; observasi langsung di lapangan terhadap kondisi dan spesifikasi *CCR*, data ukur tegangan input-output, kondisi kabel, *connector kit*, jalur distribusi, serta dokumentasi *Single Line Diagram (SLD)* eksisting; dan wawancara dengan supervisor serta teknisi listrik Unit Visual Aid Bandar Udara Soekarno-Hatta untuk menggali informasi lapangan mengenai kondisi dan kebutuhan sistem.

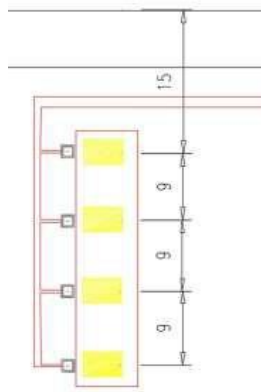
Tahapan analisis dan perancangan dilakukan secara berurutan, dimulai dari pengumpulan data konfigurasi eksisting, penentuan jalur dan spesifikasi kabel baru, penentuan spesifikasi *CCR* tambahan, perancangan *selector cabinet* panel, pemodelan logika kendali *PLC* untuk sistem eksisting maupun sistem rancangan, perbandingan kedua sistem, hingga analisis hasil rancangan. Aplikasi Google Earth digunakan untuk mengukur jarak jalur kabel karena keterbatasan pengukuran langsung di lapangan, perangkat lunak AutoCAD digunakan untuk menyusun gambar teknis dan DED, sedangkan perangkat lunak *ETAP 19.0.1* digunakan untuk memvalidasi kondisi aliran daya (load flow) sistem rancangan dibandingkan sistem eksisting.

Desain yang telah disusun kemudian divalidasi oleh dosen pembimbing dan supervisor Unit Visual Aid sebelum digunakan sebagai acuan teknis instalasi.

HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

Hasil Penelitian

Sistem *PAPI* pada *runway* 25R Bandar Udara Internasional Soekarno-Hatta saat ini menggunakan konfigurasi satu sirkuit yang menyuplai seluruh lampu *PAPI* dari satu unit *CCR* (Gambar 1). Seluruh delapan lampu halogen *PAPI* bergantung pada satu jalur distribusi daya, sehingga gangguan pada kabel maupun *CCR* dapat mengakibatkan seluruh lampu padam bersamaan.



Gambar 1. Konfigurasi Sirkuit *PAPI* Eksisting *Runway* 25R

Tabel 1. Spesifikasi dan Komponen Eksisting *PAPI Runway* 25R

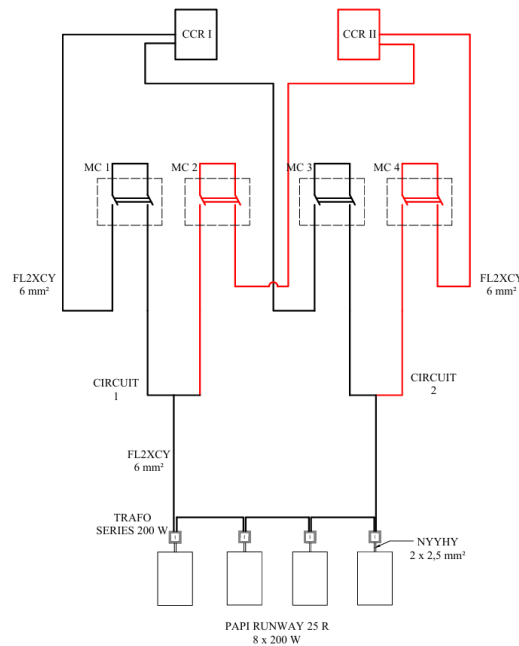
Komponen	Spesifikasi
Merek/Tipe <i>PAPI</i>	ATG/ZA-757
Kapasitas	4 box x 2 x 200 W
Jumlah/Jenis Lampu	8 lampu halogen, tipe HLX-C, 200 W
Tegangan Input Lampu	30 - 71 volt
Kabel Primer	FL2XCY 1x6 mm ² , panjang 1.636 m
Kabel Sekunder	NYHY 2x2,5 mm ² , panjang 5 m
<i>CCR</i> Eksisting	ADB MCR3, input 380 V, output 7,5 kVA, 6,6 A

Hasil pengukuran jarak jalur kabel dari gedung *CCR* menuju *PAPI runway* 25R menggunakan aplikasi Google Earth diperoleh panjang 1.636 meter. Berdasarkan spesifikasi tersebut, total beban lampu sebesar 1.600 W dengan rugi daya kabel primer 45,1 W dan kabel sekunder 6,27 W, sehingga total daya beban sistem eksisting sebesar 1.651,4 W. Kapasitas *CCR* yang dibutuhkan secara perhitungan adalah 2.580,32 VA, namun *CCR* yang terpasang di lapangan berkapasitas 7,5 kVA dengan tapping sebesar 34,44%, yang berarti *CCR* eksisting masih memiliki kapasitas cadangan cukup besar namun tidak memiliki jalur maupun sumber daya cadangan apabila terjadi gangguan. Rancangan reinstalasi *PAPI* dua sirkuit dilakukan dengan membuat jalur galian kabel baru sepanjang 1.264 meter untuk menghindari pembongkaran jalur eksisting. Jalur baru ini lebih pendek dibandingkan jalur eksisting karena mengikuti rute yang lebih efisien menuju gedung *CCR*. Penambahan satu unit *CCR* berkapasitas 5 kVA diperlukan sebagai sumber daya sirkuit kedua, sehingga sirkuit 1 tetap disuplai oleh *CCR* eksisting (7,5 kVA) dan sirkuit 2 disuplai oleh *CCR* baru (5 kVA), yang keduanya terhubung ke seluruh unit lampu *PAPI* yang sama melalui *selector cabinet*. Perbandingan hasil perhitungan kedua kondisi disajikan pada Tabel 2.

Tabel 2. Perbandingan Perhitungan Sistem Eksisting dan Rancangan

Parameter	Eksisting	Rancangan
Panjang kabel primer	1.636 m	1.264 m
Arus (I)	6,6 A	6,6 A
Rugi daya kabel primer	45,1 W	43,56 W
Rugi daya kabel sekunder	6,27 W	6,27 W
Total daya beban	1.651,4 W	1.649,836 W
Kapasitas CCR terpasang	7,5 kVA	5 kVA (unit tambahan)
Tapping CCR	34,44%	51,54%

Rancangan sirkuit ganda ditunjukkan pada Gambar 2. Jalur kabel berwarna hitam menunjukkan sirkuit 1 yang bersumber dari CCR I (eksisting), sedangkan jalur berwarna merah menunjukkan sirkuit 2 yang bersumber dari CCR II (baru). Kedua sirkuit terhubung secara independen menuju empat magnetic contactor (MC1-MC4) pada *selector cabinet* sebelum akhirnya menyuplai transformator dan kedelapan lampu PAPI yang sama, sehingga apabila salah satu sirkuit mengalami gangguan, sirkuit lainnya tetap dapat menyuplai daya tanpa memengaruhi fungsi lampu PAPI.

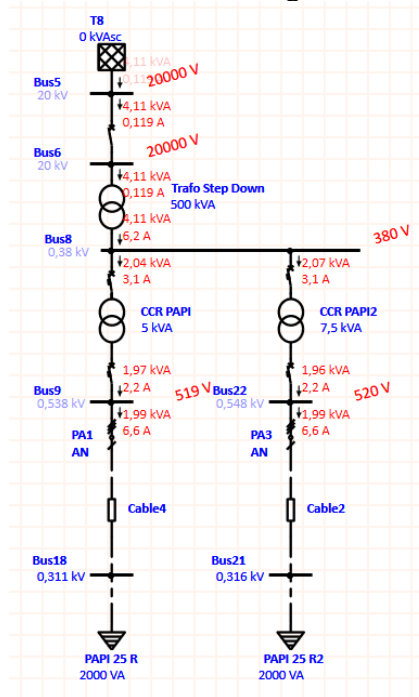


Gambar 2. Rancangan Instalasi Sirkuit Ganda PAPI Runway 25R

Pengendalian *selector cabinet* menggunakan PLC dengan spesifikasi *power supply* 100-240 VAC, 24 digital input, dan 16 digital output bertipe relay berkapasitas 2 A per output (Apriputnomo et al., 2023). Kapasitas relay tersebut mencukupi untuk mengoperasikan coil magnetic contactor bertegangan 220 VAC tanpa membebani sistem PLC secara langsung. Pemilihan magnetic contactor didasarkan pada tegangan operasi maksimum sistem sebesar 390,58 V, yang diperoleh dari pembagian kapasitas CCR pada kondisi full brightness (2.577,869 VA) terhadap arus operasi (6,6 A), serta arus kerja maksimum sebesar 6,6 A. Setiap magnetic contactor bekerja dengan prinsip elektromagnetik, yaitu kumparan yang dialiri tegangan akan menarik armature sehingga kontak utama berpindah dari kondisi terbuka menjadi tertutup untuk mengalirkan arus ke beban (Hasmintia Sembiring Maha et al., 2024).

Program kendali PLC menetapkan lima tingkat brightness (step 1 hingga step 5) pada masing-masing sirkuit, dengan input sirkuit 1 dan sirkuit 2 masing-masing mengaktifkan output relay yang mengendalikan magnetic contactor input dan output pada sisi CCR maupun

sisi lampu. Logika interlock diterapkan pada program *PLC* sehingga hanya satu sirkuit yang dapat aktif dalam satu waktu, mencegah kedua sumber *CCR* terhubung secara bersamaan ke beban yang sama. Pengujian logika kendali dilakukan melalui simulasi Human Machine Interface (HMI) pada beberapa skenario operasi. Pada kondisi standby, kedua sirkuit belum aktif dan lampu *PAPI* belum menyala. Ketika operator memilih sirkuit 1, *PLC* mengaktifkan magnetic contactor input dan output sirkuit 1 sehingga lampu *PAPI* menyala sesuai tingkat brightness yang dipilih. Perpindahan ke sirkuit 2 mengharuskan sirkuit 1 dinonaktifkan terlebih dahulu sesuai logika interlock. Pada skenario simulasi gangguan berupa kondisi open circuit pada sirkuit 1 yang sedang beroperasi, *PLC* secara otomatis melepas magnetic contactor sirkuit 1, mengaktifkan magnetic contactor sirkuit 2, serta menyalakan indikator alarm trouble, sehingga lampu *PAPI* tetap menyala tanpa jeda meskipun sirkuit utama mengalami gangguan. Setelah perbaikan dilakukan, fungsi reset pada HMI mengembalikan sistem ke kondisi standby dan siap dioperasikan kembali. Validasi rancangan dilakukan melalui simulasi aliran daya (load flow) menggunakan perangkat lunak *ETAP* dengan memasukkan parameter output *CCR*, kabel, dan beban *PAPI* sesuai spesifikasi rancangan (Gambar 3). Hasil simulasi menunjukkan tegangan pada sistem rancangan sebesar 311 V, sedikit lebih rendah dibandingkan sistem eksisting sebesar 316 V, akibat jalur kabel rancangan yang lebih pendek. Arus *CCR* dan beban pada kedua kondisi tercatat sama, yaitu 6,6 A dan 1.600 W, sebagaimana disajikan pada Tabel 3.



Gambar 3. Hasil Simulasi Jaringan Daya *PAPI* Menggunakan *ETAP*

Tabel 3. Hasil Simulasi *ETAP* Sistem Rancangan dan Eksisting

Parameter	Rancangan	Eksisting
Tegangan	311 V	316 V
Arus <i>CCR</i>	6,6 A	6,6 A
Beban	1.600 W	1.600 W

Tabel 4. Perbandingan Kondisi Eksisting dan Rancangan Dua Sirkuit

Aspek	Kondisi Eksisting	Rancangan
Jumlah sirkuit	Satu sirkuit sebagai sumber daya lampu <i>PAPI</i>	Dua sirkuit yang dapat berfungsi sebagai sirkuit utama maupun cadangan

Keandalan sistem	Bergantung pada satu sirkuit; lampu padam total jika sirkuit terganggu	Meningkat karena sirkuit cadangan otomatis mengambil alih saat sirkuit utama terganggu
Kontinuitas pelayanan	Berpotensi terganggu karena tidak ada jalur cadangan	Lebih terjaga karena <i>PLC</i> otomatis mengalihkan operasi ke sirkuit cadangan
Peralatan yang digunakan	Satu jalur sirkuit dan satu <i>CCR</i> ; biaya investasi lebih rendah	Dua jalur sirkuit, dua <i>CCR</i> , <i>selector cabinet</i> , magnetic contactor, dan <i>PLC</i> ; biaya lebih tinggi

Rancangan ini menghasilkan tiga luaran teknis utama. Detail Engineering Design (DED) berupa gambar Single Line Diagram (SLD) instalasi dua sirkuit yang menjadi pedoman pemasangan di lapangan. Bill of Quantity (BOQ) memuat rincian volume pekerjaan dan kebutuhan material, di antaranya kabel FL2XCY 1x6 mm² sepanjang 2.528 m, satu unit *CCR* 5 kVA, empat unit magnetic contactor 12 A, satu unit *PLC*, satu unit converter FO-LAN, kawat grounding BC 16 mm² sepanjang 1.264 m, satu unit box *selector cabinet* panel, kabel NYYGbY 2x4 mm² sepanjang 1.264 m, kabel fiber optik 2x2 core sepanjang 5.417 m, serta satu unit control desk device. Rencana Kerja dan Syarat (RKS) disusun mengacu pada SKEP 114 Tahun 2002, PR 21 Tahun 2023, dan PR 08 Tahun 2022, mencakup tahapan pekerjaan persiapan, pengadaan material, pekerjaan sipil, pemasangan instalasi, hingga uji coba dan commissioning.

Pembahasan

Data yang telah diolah menunjukkan bahwa *CCR* eksisting bekerja pada tapping yang relatif rendah (34,44%) meskipun tanpa jalur maupun sumber daya cadangan, sedangkan rancangan menghasilkan *CCR* tambahan berkapasitas 5 kVA yang bekerja pada tapping 51,54%, dengan rugi daya kabel primer yang justru menurun dari 45,1 W menjadi 43,56 W karena jalur galian baru yang lebih pendek. Nilai rugi daya tersebut masih berada jauh di bawah ambang toleransi 5% dari total daya lampu sebagaimana disyaratkan standar ICAO dan FAA, sehingga rancangan dinyatakan layak dari sisi kelistrikan. Keterkaitan hasil tersebut dengan konsep dasar keandalan sistem menunjukkan bahwa penerapan redundansi berupa dua sirkuit dan dua *CCR* yang independen sejalan dengan prinsip catu daya cadangan (*redundant power supply*) yang disyaratkan pada standar SKEP 114 Tahun 2002 dan PR 08 Tahun 2022 mengenai keandalan sistem visual aid bandar udara. Logika interlock pada program *PLC* berperan penting untuk memastikan hanya satu sirkuit yang aktif pada satu waktu, sehingga mencegah kedua sumber *CCR* terhubung bersamaan ke beban yang sama sekaligus mengotomatisasi proses pengalihan sirkuit ketika terjadi gangguan, tanpa memerlukan intervensi manual yang berisiko memperlambat waktu pemulihan sistem.

Dibandingkan dengan penelitian Simaremare et al. (2023) yang menambahkan sirkuit D pada taxiway Bandar Udara Internasional I Gusti Ngurah Rai untuk membagi beban *CCR* utama, rancangan pada penelitian ini menempuh pendekatan yang berbeda, yaitu menyediakan sirkuit cadangan penuh (full redundancy) sehingga ketika sirkuit utama mengalami gangguan total, sirkuit kedua dapat langsung menggantikan seluruh fungsi *PAPI* tanpa jeda. Pendekatan ini juga melengkapi temuan Nowak et al. (2022) yang menekankan pentingnya keandalan visual *PAPI* bagi pengembangan sistem kendali otomatis pesawat, serta memperluas cakupan penelitian Jose et al. (2022) yang berfokus pada *monitoring* sudut *PAPI* namun belum membahas aspek redundansi catu daya. Dengan demikian, rancangan sistem dua sirkuit otomatis ini menjawab kesenjangan penelitian terdahulu sekaligus memberikan solusi teknis yang dapat langsung diterapkan pada kondisi eksisting di lapangan.

KESIMPULAN

Penelitian ini menghasilkan rancangan reinstalasi sistem *PAPI runway 25R* Bandar Udara Internasional Soekarno-Hatta dari konfigurasi satu sirkuit menjadi dua sirkuit otomatis

menggunakan *selector cabinet* berbasis PLC. Rancangan tersebut memerlukan penambahan satu unit CCR berkapasitas 5 kVA serta jalur kabel primer FL2XCY sepanjang 1.264 meter yang lebih pendek dibandingkan jalur eksisting, sehingga rugi daya kabel justru menurun meskipun tapping CCR meningkat menjadi 51,54%. Pengujian logika interlock PLC melalui simulasi HMI membuktikan bahwa sistem mampu mendeteksi gangguan pada salah satu sirkuit dan secara otomatis mengalihkan suplai daya ke sirkuit cadangan tanpa menyebabkan lampu PAPI padam, sementara hasil simulasi ETAP menunjukkan bahwa tegangan dan arus sistem rancangan tetap berada dalam rentang aman dan setara dengan kondisi eksisting. Dengan demikian, rancangan sistem dua sirkuit ini terbukti mampu mengantisipasi risiko kegagalan total pada sistem PAPI tanpa mengganggu operasional pendaratan pesawat, dan dilengkapi dengan Detail Engineering Design (DED), Bill of Quantity (BOQ), serta Rencana Kerja dan Syarat (RKS) yang mengacu pada SKEP 114 Tahun 2002, PR 21 Tahun 2023, dan PR 08 Tahun 2022 sebagai acuan teknis pelaksanaan di lapangan.

Penelitian ini masih terbatas pada tahap perancangan dan belum mencakup pengujian pada perangkat fisik di lapangan, sehingga penelitian lanjutan disarankan untuk memperdalam perancangan media komunikasi antara sistem kendali dan perangkat *monitoring*, termasuk pengujian keandalan jaringan fiber optik yang digunakan, serta melakukan uji implementasi langsung terhadap rancangan yang telah divalidasi ini. Penulis mengucapkan terima kasih kepada dosen pembimbing dan *supervisor Unit Visual Aid* Bandar Udara Internasional Soekarno-Hatta atas bimbingan dan dukungan data selama penelitian berlangsung.

DAFTAR PUSTAKA

- Apripurnomo, S., Purnama, H., & Kunci, K. (2023). *Rancang Bangun Simulator Automatic Transfer Switch Berbasis PLC untuk Penggunaan Genset pada Instalasi Rumah Tinggal*, 275-282.
- Budi, S., Situmeang, A., Tharo, Z., Anisah, S., Sains, F., Teknologi, D., Pembangunan, U., & Budi, P. (2024). Analisis sistem *constant current regulator* pada *airfield lighting system* di bandar udara. *Jurnal Sains dan Teknologi*, 7, 434-446.
- Direktorat Jenderal Perhubungan Udara. (2002). Keputusan Direktur Jendral Perhubungan Udara Nomor: SKEP/114/VI/2002 tentang Standar Gambar Instalasi Sistem Penerangan Bandar Udara (*Airfield Lighting System*).
- Hasminta Sembiring Maha, D., Widodo Silaban, I., & Parluhutan Nainggolan, W. (2024). Smart Irrigation Pump Design Building Range Using Arduino Atmega 328. *JTELS Journal of Telecommunication and Electrical Scientific*, 01(02), 53-64.
- Jose, T., Dos, P., Pinto, S., Haryadi, S., & Moonlight, L. S. (2022). *Rancang Bangun Monitoring Sudut Kemiringan PAPI (Precision Approach Path Indicator) Menggunakan NodeMCU Berbasis IoT (Internet of Things)*, 1-8.
- Keputusan Direktur Jenderal Perhubungan Udara Nomor PR 08 Tahun tentang Standar Teknis dan Operasional Sistem Penerangan PAPI. (2022). Tentang Panduan Desain Aerodrome-Alat Bantu Visual.
- Luwihono. (2016). *Prototype Airfield Lighting On/Off Monitoring System (ALMOS) Berbasis IoT Menggunakan Mikrokontroler ESP32* [Tugas Akhir].
- Nowak, D., Kopecki, G., Kordos, D., & Rogalski, T. (2022). *The PAPI Lights-Based Vision System for Aircraft Automatic Control during Approach and Landing*.
- Panjaitan, A., Sahputra, A., & Syafriwel. (2020). Analisis Sistem *Constant current regulator* pada Lampu Precision Approach Path Indikator di Bandara Udara. *Edu ElektriKA Journal*, 9(2), 31-35.
- PR 21 Tahun 2023 Manual of Standard CASR 139 Volume I Aerodrome Daratan. (n.d.).



- Simaremare, F., Bunahri, R. R., Novie, D., Arta, C., & Kona, M. (2023). *Analisa Penambahan Jalur Circuit D pada Taxiway di Bandar Udara Internasional I Gusti Ngurah Rai - Bali*, 1(2), 122-131.
- Sugiyono. (2020). *Metodologi Penelitian Kuantitatif, Kualitatif dan R&D*.