

Analisis Sistem Kelistrikan pada Lampu Tepi Apron dan Taxiway di Bandara Internasional Minangkabau

Budi Satriyadi ¹, Yani Ridal ², Rosnita Rauf ^{1,2}

¹ Program Studi Teknik Elektro, Universitas Ekasakti, Sumatera Barat

² Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Bung Hatta, Sumatera Barat

*Email: budisartriyadi@gmail.com

ABSTRAK

Sistem pencahayaan tepi apron dan taxiway merupakan elemen penting dalam mendukung keselamatan operasi pesawat, terutama pada malam hari atau kondisi visibilitas rendah. Penelitian ini menganalisis sistem kelistrikan lampu tepi apron dan taxiway di Bandara Internasional Minangkabau-Padang, dengan tujuan meninjau kesesuaian antara perhitungan teoretis dan kondisi aktual di lapangan. Sistem terdiri dari 94 lampu IR861T berdaya 22 W yang disuplai melalui Constant Current Regulator (CCR), isolation transformer, dan jaringan kabel dalam konfigurasi seri. Hasil perhitungan menunjukkan total daya lampu adalah 2.068 W, sementara daya total sistem berdasarkan perhitungan mencapai 2,89 kW pada beban puncak, dengan kehilangan daya sebesar 826,72 W. Pengukuran langsung pada CCR menunjukkan konsumsi daya sebesar 3,95 kW. Perbedaan ini dapat disebabkan oleh rugi-rugi tambahan pada kabel dan isolation transformer, serta toleransi pengukuran dan faktor daya sistem. Tegangan total sistem berdasarkan perhitungan sebesar 461,678 V, masih dapat diakomodasi oleh tegangan tapping CCR sebesar 784 V yang dirancang untuk mengimbangi rugi tegangan. Dengan kapasitas CCR sebesar 10 kVA, sistem masih beroperasi dalam batas aman dan efisien.

Kata kunci: Sistem Kelistrikan Bandara, Apron, Taxiway, Constant Current Regulator, Isolation Transformer, Rugi Daya.

ABSTRACT

The apron and taxiway edge lighting system plays a crucial role in supporting aircraft operational safety, especially during night operations or under low visibility conditions. This study analyzes the electrical system of apron and taxiway edge lights at Minangkabau International Airport – Padang, with the objective of reviewing the conformity between theoretical calculations and actual field conditions. The system consists of 94 IR861T lamps, each rated at 22 W, supplied through a Constant Current Regulator (CCR), isolation transformers, and a series cable network. Calculation show that the total lamp power is 2,068 W, while the total system power based on calculations reaches 2.89 kW at peak load, with a power loss of 826.72 W. Direct measurement at the CCR indicates a consumption of 3.95 kW. This discrepancy can be attributed to additional losses in the cables and isolation transformers, as well as measurement tolerances and the system power factor. The total system voltage based on calculations is 461.678 V, which can still be accommodated by the CCR tapping voltage of 784 V, designed to compensate for voltage drops. With a CCR capacity of 10 kVA, the system continues to operate within safe and efficient limits.

Keywords: Airport Electrical System, Taxiway Edge Light, Constant Current Regulator, Isolation Transformer, Power Loss.

1. PENDAHULUAN

Airfield Lighting System (AFL) adalah alat bantu pendaratan visual yang berfungsi membantu dan melayani pesawat terbang selama lepas landas atau *take off*, mendarat atau *landing* dan melakukan *taxi* agar dapat bergerak secara efisien dan aman [1]. Alat bantu pendaratan dibantu dengan cahaya atau lampu yang akan menyala baik siang maupun malam hari untuk membantu pergerakan pesawat didaerah *runway*, *Taxiway*, dan *Apron*. Jenis peralatan *Airfield Lighting*

System (AFL) pada sebuah bandar udara ditentukan menurut kelas bandar udara, memiliki kategori *runway*, persyaratan teknis, bentuk desain bandar udara, dan instalasi yang dilaksanakan. Seluruh peralatan *Airfield Lighting System* (AFL) dapat dioperasikan secara jarak jauh (*remote*) dari *tower* oleh ATC maupun secara langsung atau lokal oleh teknisi listrik.

Adapun ketentuan *Airfield Lightning System* sebagai berikut:

- a. Harus mempunyai kehandalan tinggi.
- b. Intensitas cahaya disetiap lampu sama.
- c. Cahaya semua lampu harus konstan.
- d. Tingkat keamanan tinggi.

Fungsi *Airfield Lightning System* adalah :

- a. Untuk menuntun/membantu penerbang melakukan pendaratan atau tinggal landas, terutama pada malam hari atau cuaca buruk.
- b. Untuk menghilangkan kesalahan akibat lingkungan bandar udara karena adanya penerangan, misalnya lampu penduduk yang berada disekitar bandar udara.

Salah satu sistem penerangan bandara yang penting adalah lampu tepi apron dan taxiway (*edge light*). Sistem ini umumnya dirancang menggunakan konfigurasi seri dengan suplai arus konstan dari Constant Current Regulator (CCR) [2]. Di dalam sistem ini terdapat isolation transformer yang menghubungkan lampu dengan kabel utama, serta kabel bawah tanah dengan karakteristik tahanan tertentu [3].

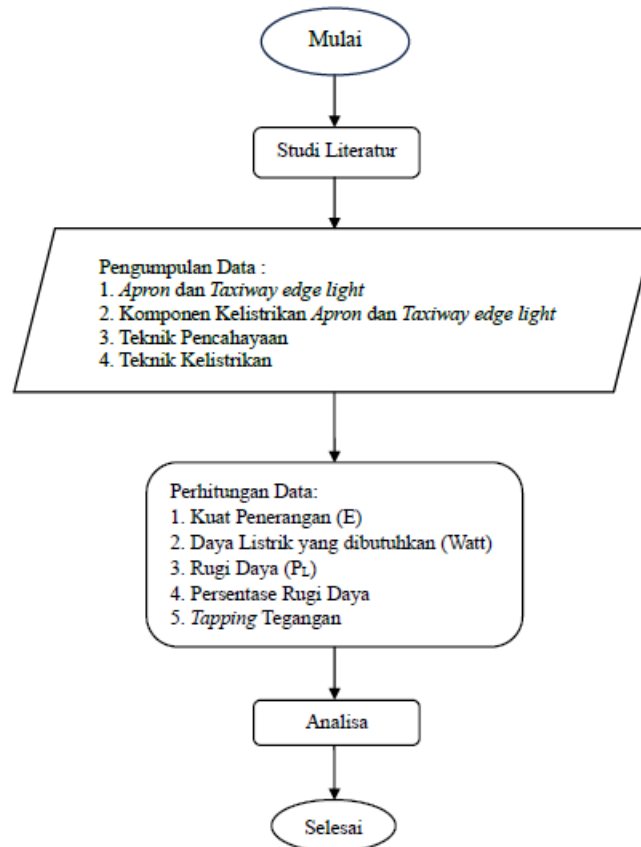
Namun, pada implementasinya, sering terjadi perbedaan antara hasil perhitungan teoritis dan kondisi aktual di lapangan, baik dari sisi daya, tegangan, arus, maupun rugi-rugi daya pada kabel. Hal ini dapat berdampak pada efisiensi energi dan keandalan sistem secara keseluruhan [4].

Penelitian ini dilakukan untuk mengevaluasi kemampuan sistem kelistrikan lampu tepi apron dan taxiway di Bandara Internasional Minangkabau, dengan fokus pada perbandingan antara perhitungan teoritis dan hasil aktual pengukuran. Evaluasi ini diharapkan dapat memberikan gambaran tentang efisiensi sistem serta potensi peningkatan yang dapat dilakukan [5].

2. METODOLOGI PENELITIAN

2.1 Jenis Penelitian

Penelitian yang dilakukan di Bandara Internasional Minangkabau Padang terhadap lampu tepi *apron* dan *taxiway* ini menggunakan pendekatan studi kasus dengan membandingkan data aktual di lapangan terhadap hasil perhitungan teoritis. Metode yang diterapkan adalah *mixed methods* [6], yakni metode kuantitatif untuk menganalisis data numerik (arus, tegangan, daya, dan beban listrik), serta metode kualitatif untuk mendeskripsikan dan menginterpretasikan hasil analisis. Teknik pengumpulan data berdasarkan studi pustaka, observasi, wawancara, dan dokumentasi yang data tersebut dianalisa secara deskriptif untuk memberikan penjelasan dari penelitian tersebut. Alur kegiatan penelitian dapat dilihat pada diagram alur dibawah ini.



Gambar 1. Diagram Alur Penelitian

2.2. Lokasi Penelitian

Lokasi penelitian berada di area *apron* dan *taxiway* Bandara Internasional Minangkabau dibawah pengawasan unit TLMP PT.Angkasa Pura Indonesia cabang Padang, dengan penelitian dilakukan pada bulan Februari hingga Juli 2025 sesuai jadwal operasional yang meliputi persiapan, pengumpulan data, analisis data, dan penyusunan hasil penelitian.

2.3. Teknik Pengumpulan Data

Sumber data terbagi menjadi dua yaitu data primer dan data sekunder. Data primer adalah data yang diperoleh penulis secara langsung dari tangan pertama, sementara data sekunder adalah data yang diperoleh penulis dari sumber yang sudah ada. Menurut Nur Indrianto dan Bambang Supono 2013:142: “Data primer merupakan sumber data penulisan yang diperoleh langsung dari sumber asli dan tidak melalui media perantara, sedangkan Data sekunder merupakan sumber data penulisan yang diperoleh penulis secara tidak langsung melalui media perantara dan diperoleh serta dicatat oleh pihak lain”[7].

Pengumpulan data spesifikasi teknis peralatan sistem lampu tepi *apron* dan *taxiway* di Bandara Internasional Minangkabau meliputi manual pabrikan CCR [8], *isolation transformer*, lampu IR861T, kabel FL2XCY serta regulasi teknis yang terkait berdasarkan dokumen ICAO maupun peraturan Kementerian Perhubungan [9], dan melakukan wawancara dengan teknisi lapangan untuk memperoleh data yang akurat.

2.4. Data Penelitian

Data teknis sistem penerangan Tepi Apron dan Taxiway di Bandar Udara Minangkabau Padang meliputi spesifikasi lampu, kabel penghantar, isolation transformer, CCR dan hasil pengukuran diperoleh hasil sebagaimana pada Tabel 1 dan Tabel 2.

Tabel 1. Spesifikasi Peralatan.

No.	Peralatan	Keterangan
1	CCR	a. Tipe MCR200CCR-6610-380-48-EL/LF/LA b. Input 380 Volt 50/60Hz c. Daya max 10 kVA (9.5 kW) d. I max 6.6 A e. 156.8 s.d 784 Volt f. PF 0.95 g. Temp Range -40° – 50°C h. 3 current steps : 4.8, 5.5, 6.6 Ampere
2	Isolation Transformer	a. Tipe ITX-A b. Rentang daya maksimum 45W c. Arus Primer 6.6A d. Arus Sekunder 6.6A e. Frekuensi 50/60Hz f. PF 0.95 g. <i>Efficiency 80% minimum</i>
3	Taxiway and Apron Edge Light	a. Tipe: IR861T b. I operation: 2.8 – 6.7A c. Daya: 22W d. Warna: Biru e. PF 0.97 f. Jumlah titik lampu : 94 buah
4	Kabel Penghantar	a. Tipe FL2XCY b. Luas Penampang: 6mm ² c. Tahanan Dalam 3.08 ohm/km d. Panjang kabel ±6162 meter

Table 2. Data Pengukuran Indikator CCR

Step CCR	Arus (A)	Daya (kW)
1	4,76	2,14
2	5,51	2,78
3	6,60	3,95

2.5. Teknik Analisis Data

Analisis dilakukan dengan membandingkan hasil pengukuran aktual dengan perhitungan teoritis menggunakan persamaan dasar sebagai berikut:

- Daya Total Lampu (P_{lampu}) = Jumlah Lampu × Daya Lampu (1)

- Rugi daya kabel = P_{loss} (P_L) = $I^2 \cdot R \cdot L$ (2)

Dimana:

R = Resistansi penghantar (Ω /km)

L = Panjang penghantar (km)

I = Arus (A)

- Kebutuhan Daya yang disuplai oleh CCR (P_{total}) = $P_{lampu} + P_L$ (3)

$$\text{- Persentase Rugi Daya} = \% \text{ Rugi Daya} = \frac{P_L}{P_{Masuk}} \times 100\% \quad (4)$$

$$\text{- Efisiensi sistem } (\eta) = (P_{Total \text{ lampu}} / P_{output \text{ CCR}}) \times 100\% \quad (5)$$

$$\text{- Tegangan Tapping Sistem} = V = \frac{P_{total}}{I \times \cos \phi} \quad (6)$$

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Untuk mengetahui perbandingan pembacaan daya yang digunakan pada CCR (tabel 2) dengan hasil perhitungan apakah telah memenuhi kebutuhan beban serta berapa besar tegangan yang perlu disuplai untuk pemenuhan tegangan lampu rangkaian *Apron* dan *Taxiway Edge Light*, maka dapat dilakukan perhitungan sebagai berikut

3.1. Perhitungan Beban Terpasang

Berdasarkan persamaan 3, kebutuhan daya yang diberikan setiap step CCR untuk beban rangkaian *Apron* dan *Taxiway Edge Light* dapat dihitung sebagai berikut:

$$P_{total} = P_{lampu} + P_L$$

$$P_{total} = (\text{Jumlah Lampu} \times \text{Daya Lampu}) + (I^2 \cdot R \cdot L)$$

$$P_{total \text{ Step 1}} = (94 \times 22 \text{ watt}) + (4,8^2 \text{ A} \times 3,08 \text{ } \Omega/\text{km} \times 6,162 \text{ km})$$

$$= (2068 \text{ watt}) + (437,27 \text{ watt})$$

$$= 2505,27 \text{ watt} = 2,5 \text{ kW}$$

$$P_{total \text{ Step 2}} = (94 \times 22 \text{ watt}) + (5,5^2 \text{ A} \times 3,08 \text{ } \Omega/\text{km} \times 6,162 \text{ km})$$

$$= (2068 \text{ watt}) + 574,113 \text{ watt}$$

$$= 2642,113 \text{ watt} = 2,64 \text{ kW}$$

$$P_{total \text{ Step 3}} = (94 \times 22 \text{ watt}) + (6,6^2 \text{ A} \times 3,08 \text{ } \Omega/\text{km} \times 6,162 \text{ km})$$

$$= (2068 \text{ watt}) + (826,724 \text{ watt})$$

$$= 2894,724 \text{ watt} = 2,89 \text{ kW}$$

3.2. Perhitungan Persentasi Rugi Daya

Dengan menggunakan persamaan 4, maka dapat ditentukan perbandingan persentase rugi daya dari arus dan daya yang diberikan oleh CCR pada setiap step-nya berdasarkan tabel 2.1 terhadap rugi daya saluran sebagai berikut:

$$\% \text{ Rugi Daya} = \frac{P_L}{P_{Masuk}} \times 100\%$$

Sehingga diperoleh:

$$P_{L(\text{Step1})} = 4,76^2 \times 3,08 \text{ ohm/km} \times 6,162 \text{ km}$$

$$= 430 \text{ watt}$$

$$P_{L(\text{Step2})} = 5,51^2 \times 3,08 \text{ ohm/km} \times 6,162 \text{ km}$$

$$= 576,203 \text{ watt}$$

$$P_{L(\text{Step3})} = 6,6^2 \times 3,08 \text{ ohm/km} \times 6,162 \text{ km}$$

$$= 826,724 \text{ Watt}$$

Persentase rugi daya menjadi:

$$\text{Rugi Daya Step 1 CCR} = \frac{430}{2140} \times 100\% = 20,1 \%$$

$$\text{Rugi Daya Step 2 CCR} = \frac{576,203}{2780} \times 100\% = 20,7 \%$$

$$\text{Rugi Daya Step 3 CCR} = \frac{826,724}{3950} \times 100\% = 20,9 \%$$

3.3. Perhitungan Efisiensi Sistem

Dengan menggunakan persamaan 5, efisiensi sistem yang dipakai oleh lampu dapat diperoleh sebagai berikut:

$$\eta = \frac{P_{\text{Total lampu}}}{P_{\text{output CCR}}} \times 100\%$$

Daya hasil pengukuran CCR pada Step 3 (aktual), $P_{\text{output CCR}} = 3950 \text{ W}$

Sehingga diperoleh hasil:

$$\begin{aligned} \eta &= \frac{2068}{3950} \times 100\% \\ &= 52,37\% \end{aligned}$$

3.4. Perhitungan Tegangan Tapping

Tegangan tapping pada CCR yang diperlukan untuk beroperasinya rangkaian lampu *Apron* dan *Taxiway Edge Light* dihitung dari hasil persamaan 3 disubstitusikan dengan persamaan 6 sebagai berikut:

$$\begin{aligned} V &= \frac{P_{\text{total}}}{I \times \cos \phi} \\ &= \frac{2894,724}{6,6 \times 0,95} \\ &= 461,678 \text{ volt} \end{aligned}$$

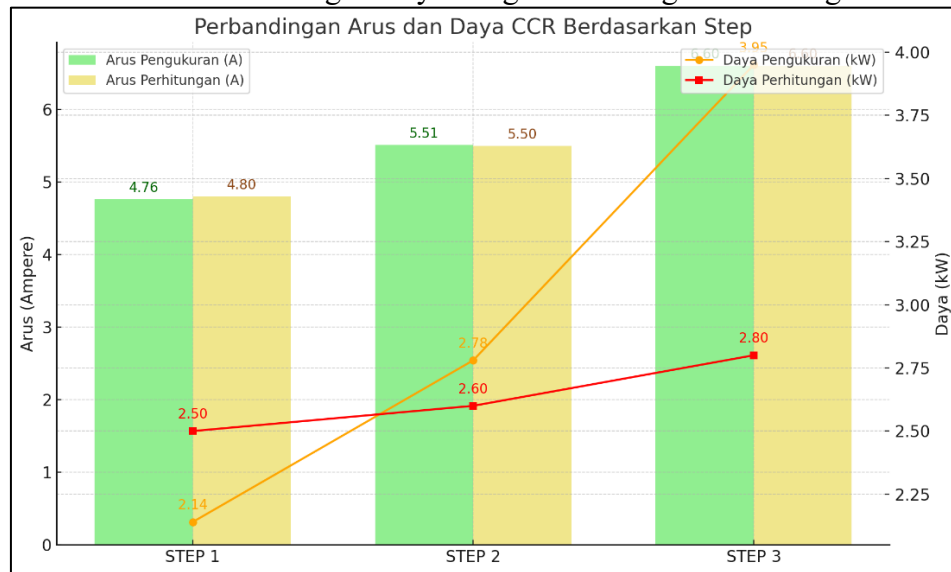
3.5. Analisis Perbandingan

Hasil pengukuran aktual CCR pada step 3 menunjukkan konsumsi daya 3,95 kW, lebih tinggi dari hasil perhitungan (2,89 kW). Selisih ini disebabkan rugi-rugi tambahan pada kabel, isolation transformer, faktor daya, serta toleransi alat ukur. Hal ini konsisten dengan penelitian sebelumnya.

Tabel 3. Perbandingan Daya Pengukuran dengan Perhitungan

CCR	Hasil Pengukuran		Hasil Perhitungan	
	Arus (A)	Daya (kW)	Arus (A)	Daya (kW)
STEP1	4,76	2,14	4,8	2,5
STEP2	5,51	2,78	5,5	2,64
STEP3	6,6	3,95	6,6	2,89

Grafik 2. Perbandingan Daya Pengukuran dengan Perhitungan.



3.5. Efisiensi Sistem

- Efisiensi murni berdasarkan daya lampu pada step ke 3 CCR= 52,37%
- Sistem masih bekerja dalam batas aman meskipun terdapat gap antara perhitungan dan pengukuran actual

4. KESIMPULAN DAN SARAN

4.1 Kesimpulan

Beberapa kesimpulan diperoleh dari hasil penelitian sebagai berikut:

1. Kebutuhan Daya CCR berdasarkan tabel 3, masih dapat ditangani oleh kemampuan spesifikasi CCR sesuai data penelitian sebesar 10 KV / 9,5 kW.
2. Rugi daya kabel meningkat seiring dengan level step CCR, dengan nilai tertinggi sebesar 826,72 W pada step 3.
3. Efisiensi sistem berdasarkan daya lampu adalah 52,37%.
4. Persentase rugi daya diperoleh nilai rata-rata sebesar 20%.
5. Tegangan tapping CCR sebesar 784 V memadai untuk menjaga tegangan sistem dalam batas aman, dimana hasil perhitungan diperoleh sebesar 461,678 volt.
6. Terdapat perbedaan Daya actual yang dibaca dengan hasil perhitungan daya total (lampu + rugi daya) yang bisa disebabkan oleh rugi-rugi tambahan pada kondisi kabel penghantar dan isolation transformer.

4.2 Saran

Saran yang dapat diberikan untuk peningkatan kinerja peralatan sebagai berikut:

1. Verifikasi dan pengujian lapangan perlu dilakukan secara rutin untuk memastikan bahwa CCR tetap bekerja optimal sesuai standar ICAO dan bahwa tegangan output cukup untuk menyalakan seluruh lampu taxiway tanpa menyebabkan overloading.
2. Rugi-rugi daya yang tinggi pada kabel penghantar dan isolation transformer dapat menyebabkan peningkatan kebutuhan tegangan dari CCR. Maka dari itu, perlu dilakukan evaluasi berkala terhadap kondisi fisik kabel, sambungan, dan isolation transformer, guna menjaga performa sistem secara keseluruhan.
3. Perlu adanya kalibrasi rutin pada perangkat CCR agar nilai yang ditunjukkan tepat.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Direktorat Jendral Perhubungan Udara, *KP 2 Tahun 2013 - Kriteria Penempatan Peralatan dan Utilitas Bandar Udara*. DJPU, 2013.
- [2] ICAO, *ICAO Doc 9157-Aerodrome Design Manual-part 5 Electrical System*, Second. ICAO, 2017.
- [3] R. Tampubolon, H. Lesnussa, and A. Patiran, “Analisa Kelayakan Taxiway Light (Studi Kasus Bandara Rendani Manokwari): Analysis of Feasibility for Taxiway Light (Case Study in Rendani Airport of Manokwari),” *JISTECH J. Inf. Sci. Technol.*, vol. 11, no. 2, 2023.
- [4] S. B. A. Situmeang, Z. Tharo, S. Anisah, and Sains, “Analisis sistem constant current regulator pada airfield lighting system di bandar udara constant current regulator system analysis on airfield lighting systems at airports,” *INTECOMS*, vol. 7, pp. 434–446, 2024.
- [5] M. Rhajiev, D. Al, H. Ersada, and M. Haddin, “Evaluasi Kuat Penerangan Berbasis ICAO Annex 14 Pada Runway Bandara Udara Internasional Juanda Surabaya,” vol. 14, no. 2, 2025.
- [6] V. L. P. C. John W. Creswell, *Designing and Conducting Mixed Methods Research*, 3rd ed. SAGE Publications, 2017.
- [7] B. Indriantoro, N. Supono, “Metodologi Penelitian Bisnis,” 1999.
- [8] ATG AIRPORT, *Installation and Maintenance Manual Micro 200 CCR*, no. 0. ATG Airports ltd, 2021.
- [9] Direktorat Jenderal Perhubungan Udara, *PR 21 Tahun 2023*, vol. Vol. 1. DJPU, 2023.