

**EVALUASI KUAT PENERANGAN RUNWAY DI BANDAR UDARA
INTERNASIONAL JUANDA SURABAYA BERBASIS INTERNATIONAL
CIVIL AVIATION ORGANIZATION (ICAO) ANNEX 14**

LAPORAN TUGAS AKHIR



Disusun Oleh:

Muhammad Rhajiev Dzaky A.E

NIM: 30601900027

**PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
UNIVERSITAS ISLAM SULTAN AGUNG
SEMARANG**

2026

FINAL PROJECT REPORT

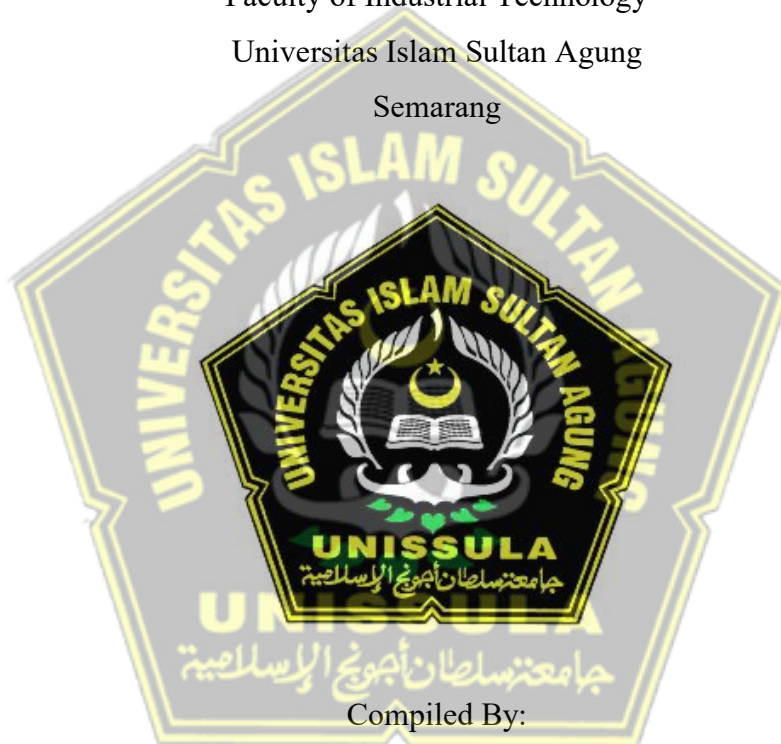
**EVALUATION OF RUNWAY LIGHTING INTENSITY AT JUANDA
INTERNATIONAL AIRPORT, SURABAYA BASED ON INTERNATIONAL
CIVIL AVIATION ORGANIZATION (ICAO) ANNEX 14**

This Report is Compiled to Fulfil One of the Requirements
To Obtain a Bachelor's Degree in the Electrical Engineering Study Program

Faculty of Industrial Technology

Universitas Islam Sultan Agung

Semarang



Compiled By:

Muhammad Rhajiev Dzaky A.E

NIM: 30601900027

**DEPARTEMENT OF ELECTRICAL ENGINEERING
FACULTY OF INDUSTRIAL TECHNOLOGY
UNIVERSITAS ISLAM SULTAN AGUNG
SEMARANG
2026**

LEMBAR PENGESAHAN PEMBIMBING

Laporan Tugas Akhir dengan judul “EVALUASI KUAT PENERANGAN RUNWAY DI BANDAR UDARA INTERNASIONAL JUANDA SURABAYA BERBASIS INTERNATIONAL CIVIL AVIATION ORGANIZATION (ICAO) ANNEX 14” ini disusun oleh:

Nama : Muqhammad Rhajiev Dzaky A.E

NIM : 30601900027


Program Studi : Teknik Elektro

Telah disahkan oleh dosen pembimbing pada :

Hari : Selasa

Tanggal : 10 Februari 2026

Pembimbing I


Prof. Dr. Ir. Muhamad Haddin, M.T.

NIDN. 0618066301

Mengetahui,

Ketua Program Studi Teknik Elektro


M. Hafid Ismail, S.T.M.T.
4/2/26
NIK. 210616054

LEMBAR PENGESAHAN PENGUJI

Laporan Tugas Akhir dengan judul "EVALUASI KUAT PENERANGAN RUNWAY DI BANDAR UDARA INTERNASIONAL JUANDA SURABAYA BERBASIS INTERNATIONAL CIVIL AVIATION ORGANIZATION (ICAO) ANNEX 14" ini telah dipertahankan di depan penguji

Hari : Selasa
Tanggal : 10 Februari 2026

Tim Penguji

Tanda Tangan

Jenny Putri Hapsari, S.T., M.T.

NIDN.0607018501

Ketua Penguji



100226

Dr. Ir Agus Adhi Nugroho, M.T.

NIDN. 0628086501

Penguji I



Prof. Dr. Ir. Muhamad Haddin M.T.

NIDN. 0618066301

Penguji II



SURAT PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR

Yang bertanda tangan dibawah ini :

Nama : Muqhammad Rhajiev Dzaky A.E
NIM : 30601900027
Judul Tugas Akhir : EVALUASI KUAT PENERANGAN RUNWAY
DI BANDAR UDARA INTERNASIONAL
JUANDA SURABAYA BERBASIS
INTERNASIONAL CIVIL AVIATION
ORGANIZATION (ICAO) ANNEX 14

Dengan ini saya menyatakan bahwa judul serta isi Tugas Akhir yang saya susun untuk memenuhi persyaratan memperoleh gelar Sarjana (S1) Teknik Elektro merupakan hasil karya saya sendiri. Karya ini belum pernah diangkat, ditulis, ataupun dipublikasikan oleh pihak lain, baik sebagian maupun seluruhnya, kecuali bagian-bagian yang secara jelas saya cantumkan sebagai rujukan dalam naskah dan daftar pustaka. Apabila di kemudian hari terbukti bahwa Tugas Akhir ini pernah ditulis, digunakan, atau diterbitkan oleh orang lain, saya bersedia menerima segala bentuk sanksi akademik yang berlaku. Pernyataan ini saya buat dengan penuh kesadaran dan rasa tanggung jawab.

Semarang, 23 Februari 2026

Yang Menyatakan



Muqhammad Rhajiev Dzaky A.E

PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI ILMIAH

Yang bertanda tangan dibawah ini :

Nama : Muqhammad Rhajiev Dzaky A.E
NIM : 30601900027
Program Studi : Teknik Elektro
Fakultas : Fakultas Teknologi Industri

Dengan ini saya menyerahkan karya ilmiah berupa Tugas Akhir dengan judul "EVALUASI KUAT PENERANGAN RUNWAY DI BANDAR UDARA INTERNASIONAL JUANDA SURABAYA BERBASIS INTERNASIONAL CIVIL AVIATION ORGANIZATION (ICAO) ANNEX 14" dan menyetujui menjadi hak milik Universitas Islam Sultan Agung serta memberikan hak bebas royalti non-eksklusif untuk disimpan, dialih mediakan, dikelola dalam pangkalan data dan publikasinya di internet atau media lain untuk kepentingan akademis selama tetap mencantumkan nama penulis sebagai pemilik Hak Cipta.

Pernyataan ini saya buat dengan sungguh-sungguh. Apabila dikemudian hari terbukti ada pelanggaran Hak Cipta/ Plagiarisme dalam karya ilmiah ini, maka segala bentuk tuntutan hukum yang timbul akan saya tanggung secara pribadi tanpa melibatkan pihak Universitas Islam Sultan Agung

Semarang, 23 Februari 2026

Yang Menyatakan



Muqhammad Rhajiev Dzaky A.E

HALAMAN PERSEMBAHAN

Pada bagian ini, saya menyampaikan apresiasi yang sebesar-besarnya kepada seluruh pihak yang telah memberikan kontribusi selama proses penyelesaian skripsi ini. Penghargaan tertinggi saya sampaikan kepada keluarga yang senantiasa memberikan dukungan moral, motivasi, dan doa yang tidak terputus. Saya juga menyampaikan terima kasih kepada pembimbing, Bapak Prof. Dr. Ir. Muhamad Haddin, MT, atas bimbingan ilmiah, masukan konstruktif, serta kesediaan beliau mendampingi saya dalam setiap tahap penelitian. Ucapan terima kasih saya tujukan kepada rekan-rekan Teknik Elektro angkatan 2019 yang memberikan dukungan dan kebersamaan selama masa studi. Selain itu, saya menghaturkan terima kasih kepada para dosen dan staf akademik Fakultas Teknologi Industri atas ilmu pengetahuan, pelayanan, dan lingkungan pembelajaran yang kondusif. Seluruh dukungan tersebut menjadi bagian integral dalam tercapainya penyusunan skripsi ini.

1. Orang tua saya tercinta Ibu Ertin Sri Aguswati yang selalu memberikan semangat, doa dan dukungan yang sangat saya rasakan ketika mengerjakan laporan Tugas Akhir ini. Baik dalam bentuk material maupun seperitual.
2. Ucapan Terima Kasih kepada Dwi Khikmah, Semoga pencapaian ini menjadi langkah awal yang baik bagi rencana besar yang sedang kita lakukan dan kita persiapkan untuk di masa depan. Terima kasih telah menemani perjalanan ini sampai di garis finish,
3. Bapak Prof. Dr. Ir Muhamad Haddin, M.T selaku dosen pembimbing yang telah meluangkan waktu, tenaga, dan pikiran untuk memberikan bimbingan, arahan, serta ilmu yang sangat berharga bagi penulis dalam penyusunan Tugas Akhir ini.

Semoga karya tulis ini dapat memberikan manfaat bagi perkembangan ilmu pengetahuan dan teknologi, serta menjadi amal jariyah bagi kita semua.

HALAMAN MOTTO

"Dan Dia menjadikan untukmu cahaya agar kamu berjalan dengan terang di
tengah manusia."

(QS. Al-Hadid: 28)

“Cahaya bukan hanya untuk melihat, tetapi untuk menunjukkan jalan yang benar.”

(Albert Einstein)

“Kesuksesan bukanlah suatu kebetulan. Ia adalah hasil dari kerja keras,
ketekunan, belajar, pengorbanan, dan yang paling penting, mencintai apa yang
kamu kerjakan.”

(Pelé)

“Jika kamu ingin mencapai kesempurnaan dalam pekerjaan, lakukanlah seolah-
olah Tuhan sedang mengawasi hasilnya.”

(Thomas Edison)

"Sesungguhnya Allah mencintai orang-orang yang apabila bekerja, mereka
menyempurnakannya."

(HR. Thabrani)

KATA PENGANTAR

Segala puji dan syukur ke hadirat Tuhan yang Maha Pengasih atas segala limpahan kasih, karunia, dan kehendak-Nya yang telah memungkinkan penyelesaian Tugas Akhir Skripsi yang berjudul "**EVALUASI KUAT PENERANGAN RUNWAY DI BANDAR UDARA INTERNASIONAL JUANDA SURABAYA BERBASIS INTERNATIONAL CIVIL AVIATION ORGANIZATION (ICAO) ANNEX 14**". Keberhasilan dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini tidak dapat dipisahkan dari dukungan, bimbingan, serta doa yang saya terima dari berbagai pihak. Oleh karena itu, dengan penuh kerendahan hati saya menyampaikan apresiasi dan ucapan terima kasih yang setulus-tulusnya kepada pihak-pihak yang terhormat yang telah memberikan kontribusi berharga selama proses penyusunan Tugas Akhir ini:

1. Ibu Dr. Hj. Novi Marlyana, S.T., M.T. Selaku Dekan Fakultas Teknologi Industri Universitas Islam Sultan Agung Semarang.
2. Ibu Jenny Putri Hapsari, S.T., MT Selaku Ketua Jurusan Teknik Elektro Universitas Islam Sultan Agung Semarang.
3. Bapak Prof. Dr. Ir. Muhamad Haddin, MT. Selaku Dosen Pembimbing yang telah meluangkan waktu selama proses bimbingan. Bapak Munaf Ismail, S.T, M.T. Selaku Koordinator Tugas Akhir Teknik Elektro Fakultas Teknologi Industri Universitas Islam Sultan Agung.
4. Seluruh dosen pengajar di jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknologi Industri Universitas Islam Sultan Agung Semarang.
5. Ibu dan Ayah tercinta beserta seluruh anggota keluarga yang selalu memberikan doa, dukungan, dan semangat yang tiada henti dalam proses penyelesaian Tugas Akhir ini.
6. Seluruh pihak terutama Dwi Khikmah yang telah menemani perjalanan Skripsi saya dari bulan November hingga saat ini dan terima kasih telah memberikan bantuan semangat, baik secara langsung maupun tidak langsung, dalam pelaksanaan dan penyusunan Tugas Akhir ini, yang tidak dapat disebutkan satu per satu.

Penulis menyadari bahwa, meskipun telah diupayakan secara maksimal, Laporan Tugas Akhir ini masih memiliki keterbatasan dan kekurangan. Oleh sebab itu, penulis sangat mengharapkan saran serta kritik yang bersifat konstruktif demi penyempurnaan karya ini di masa mendatang. Penulis juga berharap bahwa laporan ini dapat memberikan manfaat bagi para pembaca.

Semarang,

2025

Muhammad Rhajiev Dzaky A.E



DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN PEMBIMBING	ii
LEMBAR PENGESAHAN PENGUJI	iii
SURAT PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR	iv
PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI ILMIAH	v
HALAMAN PERSEMBAHAN.....	vi
HALAMAN MOTTO	vii
KATA PENGANTAR.....	viii
DAFTAR ISI	x
DAFTAR TABEL	xii
DAFTAR GAMBAR.....	xiii
ABSTRAK.....	xiv
ABSTRACT.....	xv
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Batasan Masalah	3
1.4 Manfaat Penelitian	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI.....	5
2.1 Tinjauan Pustaka	5
2.2 Landasan Teori.....	6
2.2.1 Airport Lighting	6
2.2.2 Runway Lighting.....	7
2.2.3 CCR (Constan Current Regulator).....	7
2.2.4 Runway Marking.....	9
2.2.5 Runway Edge Lighting System	10
2.2.6 Runway Center Line Lighting System.....	11
2.2.7 Turning Area Lighting System	12
2.2.8 Runway Threshold Lighting System	12
2.2.9 Intensitas Cahaya dan Iluminansi	21
2.2.10 Kapasitas Beban Terpasang.....	24

2.2.11 Metode Perhitungan Beban pada Sistem Penerangan Runway	23
2.2.12 International Civil Aviation Organization (ICAO) Annex 14	26
BAB III METODOLOGI PENELITIAN.....	26
3.1 Model Penelitian	26
3.2 Waktu dan Tempat Penelitian	28
3.3 Flowchart Penelitian.....	29
BAB IV HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN.....	30
4.1 Hasil dan Pembahasan Penelitian	30
4.1.1 Prinsip Kerja <i>Constant Current Regulator (CCR)</i>	30
4.1.2 Evaluasi Kinerja CCR Dalam Lingkungan Kritis	31
4.1.3 Sistem Pengoperasian dan Pengaturannya pada <i>Runway Light Constant Current Regulator (CCR)</i> Bandar Udara Internasional Juanda Surabaya.....	34
4.1.4 Perhitungan Besar Daya untuk Setiap Step Penerangan <i>Runway</i>	38
4.1.5 Menghitung Intensitas Cahaya dan Kuat Penerangan <i>Runway</i>	40
4.1.6 Sistem Rangkaian Penerangan <i>Runway</i>	44
4.1.7 Perhitungan Kapasitas Pengaman (<i>Fuse</i>).....	45
4.1.8 Perbandingan Hasil Perhitungan dengan Standar ICAO Annex 14	47
BAB V PENUTUP.....	39
5.1 Kesimpulan	39
5.2 Saran	40
DAFTAR PUSTAKA.....	50
LAMPIRAN	Error! Bookmark not defined.

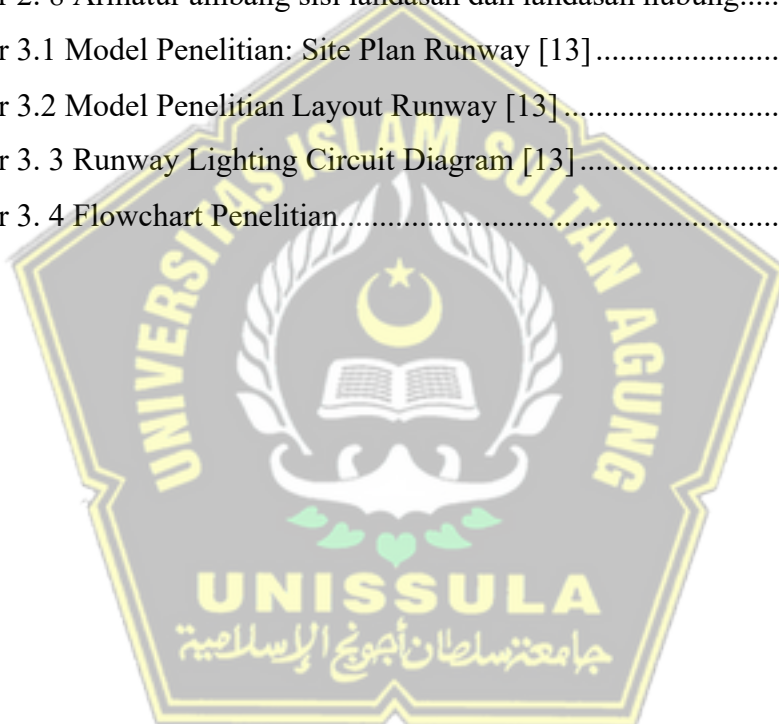
DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Standar intensitas cahaya Runway Lighting untuk kondisi cuaca cerah	23
Tabel 3.1 Spesifikasi runway	26
Tabel 3.2 Spesifikasi Lampu.....	26
Tabel 4. 1 Daya Listrik.....	39
Tabel 4. 2 Fluks cahaya (Φ) tiap step.....	41
Tabel 4. 3 Intensitas cahaya (I) dan kuat penerangan (E) pada sistem runway light	42
Tabel 4. 4 Rekapitulasi Intensitas Cahaya dan Kuat Penerangan per Step Runway	43
Tabel 4. 5 Perhitungan Kapasitas Pengaman Lebur (Fuse) Runway Light	46
Tabel 4. 6 Perbandingan Standar ICAO Annex 14 dengan Hasil Perhitungan Intensitas	48



DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Circuit Yang dilengkapi 2 CCR [5].....	8
Gambar 2. 2 Runway Threshold [9].....	12
Gambar 2. 3 Konstruksi Lampu Pijar	16
Gambar 2. 4 Selector Switch.....	17
Gambar 2. 5 Grafik Kepekaan Mata Manusia [11].....	18
Gambar 2. 6 Konstruksi NYN [11]	19
Gambar 2. 7 Armatur ambang utama	21
Gambar 2. 8 Armatur ambang sisi landasan dan landasan hubung.....	21
Gambar 3.1 Model Penelitian: Site Plan Runway [13]	27
Gambar 3.2 Model Penelitian Layout Runway [13]	27
Gambar 3. 3 Runway Lighting Circuit Diagram [13].....	27
Gambar 3. 4 Flowchart Penelitian.....	29



ABSTRAK

Keselamatan penerbangan sangat dipengaruhi oleh keandalan sistem penerangan runway sebagai salah satu alat bantu visual utama di bandar udara, terutama pada operasi malam hari dan kondisi cuaca dengan visibilitas rendah. Seiring meningkatnya intensitas pergerakan pesawat dan kompleksitas operasional bandar udara, diperlukan evaluasi berkala terhadap kuat penerangan runway agar tetap memenuhi standar keselamatan internasional. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis dan mengevaluasi kesesuaian kuat penerangan Runway Lighting di Bandar Udara Internasional Juanda Surabaya terhadap ketentuan International Civil Aviation Organization (ICAO) Annex 14. Metode penelitian yang digunakan adalah pendekatan kombinasi kuantitatif dan kualitatif. Metode kuantitatif dilakukan melalui perhitungan teknis terhadap parameter kelistrikan sistem penerangan runway, meliputi intensitas cahaya, kapasitas beban terpasang, tahanan kabel, impedansi rangkaian, serta kinerja Constant Current Regulator (CCR). Metode kualitatif dilakukan melalui observasi lapangan, studi literatur, dokumentasi teknis, serta wawancara dengan personel teknis dan Air Traffic Controller (ATC) terkait sistem pengoperasian dan pengendalian tingkat intensitas pencahayaan runway. Hasil penelitian menunjukkan bahwa sistem penerangan runway di Bandar Udara Internasional Juanda Surabaya secara umum telah dirancang mengacu pada standar ICAO Annex 14, khususnya dalam penggunaan arus konstan 6,6 Ampere melalui CCR serta pengaturan multi-step brightness. Namun, ditemukan potensi permasalahan teknis yang dapat memengaruhi kinerja sistem, terutama terkait resistansi sambungan kabel akibat faktor lingkungan yang berpotensi meningkatkan beban daya dan tegangan pada sistem. Evaluasi ini menegaskan pentingnya pemeliharaan berkala dan pengawasan kondisi instalasi kelistrikan untuk menjaga stabilitas intensitas cahaya runway. Dengan demikian, penelitian ini diharapkan dapat menjadi bahan evaluatif dan rekomendasi teknis dalam meningkatkan keandalan serta keselamatan operasional penerangan runway di bandar udara.

Kata kunci: Runway Lighting, Intensitas Cahaya, Constant Current Regulator, ICAO Annex 14, Keselamatan Penerbangan.

ABSTRACT

Flight safety is strongly influenced by the reliability of runway lighting systems as primary visual aids at airports, particularly during night operations and low-visibility weather conditions. Along with the increasing number of aircraft movements and operational complexity of airports, periodic evaluation of runway lighting intensity is essential to ensure compliance with international safety standards. This study aims to analyze and evaluate the compliance of runway lighting intensity at Juanda International Airport, Surabaya, with the standards set forth in the International Civil Aviation Organization (ICAO) Annex 14. This research employs a mixed-method approach combining quantitative and qualitative methods. The quantitative method involves technical calculations of runway lighting electrical parameters, including light intensity, installed load capacity, cable resistance, circuit impedance, and the performance of the Constant Current Regulator (CCR). The qualitative method is conducted through field observations, literature reviews, technical documentation analysis, and interviews with technical personnel and Air Traffic Controllers (ATC) regarding runway lighting operation and intensity control procedures. The results indicate that the runway lighting system at Juanda International Airport has generally been designed in accordance with ICAO Annex 14 requirements, particularly in the application of a constant current of 6.6 Amperes through CCRs and multi-step brightness control. However, potential technical issues were identified, especially related to increased cable joint resistance caused by environmental factors, which may lead to higher power loads and voltage stress within the system. These findings highlight the importance of regular maintenance and continuous monitoring of electrical installations to maintain stable runway lighting intensity. This study is expected to serve as a technical evaluation reference and provide recommendations to enhance the reliability and operational safety of runway lighting systems at airports.

Keywords: *Runway Lighting, Light Intensity, Constant Current Regulator, ICAO Annex 14, Flight Safety.*

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Perkembangan transportasi dalam berbagai aspek kehidupan menunjukkan peningkatan yang signifikan, termasuk pada sektor transportasi udara yang mengalami pertumbuhan pesat seiring dengan membaiknya kondisi ekonomi masyarakat. Transportasi udara memiliki sejumlah kelebihan dibandingkan moda transportasi lain, seperti kereta, kapal, maupun kendaraan umum. Hal ini disebabkan oleh kemampuan transportasi udara untuk menjangkau wilayah-wilayah yang sulit atau tidak dapat diakses oleh moda transportasi lainnya. Dalam beberapa tahun terakhir, bandar udara telah mengalami perkembangan pesat, baik dari segi jumlah penerbangan maupun ukuran dan kompleksitas operasionalnya. Pertumbuhan ini mendorong perlunya evaluasi rutin terhadap sistem pencahayaan *runway* untuk memastikan ketersediaan dan keandalan pencahayaan yang memadai sesuai dengan standar keselamatan penerbang.

Salah satu komponen penting pada *runway* adalah sistem pencahayaan. Sistem pencahayaan pada *runway* memegang peran krusial dalam keselamatan penerbangan di bandar udara, hal ini menjadikan permasalahan yang sangat penting.

Permasalahan sistem pencahayaan pada *runway* adalah kuat penerangan memenuhi standar *International Civil Aviation Organization* (ICAO) Annex 14. Hal ini untuk memastikan penglihatan yang jelas yang optimal sesuai standar yang memastikan bagi pilot untuk melihat dengan jelas *runway*, terutama saat kondisi cuaca buruk atau saat penerbangan dilakukan pada malam hari. Dampak dari kuat pencahayaan yang tidak memenuhi standar pencahayaan menyebabkan resiko kecelakaan pesawat, hal ini dapat membahayakan keamanan penumpang, kargo serta personil.

Solusinya adalah perlu dipastikan apakah sistem pencahayaan *runway* sudah memenuhi standar atau belum. Hal ini dilakukan sebagai upaya untuk memastikannya keselamatan penerbangan. Dengan melakukannya evaluasi yang

kuat akan dapat diidentifikasi dan diperbaiki potensi masalah yang dapat mempengaruhi pendaratan dan lepas landas pada pesawat.

Hal ini akan meningkatkan keamanan operasional bandar udara secara keseluruhan. Meskipun ada pedoman dan standar yang telah ditetapkan oleh organisasi seperti *Internasional Civil Aviation Organization (ICAO) Annex 14*, evaluasi praktis lapangan terhadap kuat penerangan *Runway Lighting* pada bandar udara tertentu dapat memberikan wawasan yang lebih mendalam tentang efektivitas cahaya, dan keberadaan hambatan visual seperti kabut atau hujan, dapat mempengaruhi kinerja pencahayaan *runway* secara keseluruhan.

Penelitian ini bertujuan untuk melakukan analisis dan evaluasi secara komprehensif terhadap kuat penerangan *Runway Lighting* pada Bandar Udara. Pendekatan studi kasus digunakan untuk mengidentifikasi faktor-faktor yang memengaruhi kinerja pencahayaan, mengevaluasi tingkat kecerahan pencahayaan yang diberikan serta menyusun rekomendasi perbaikan atau peningkatan yang diperlukan untuk memastikan keselamatan operasional. Sebagai obyek penelitian diambil system pencahayaan *runway* Bandara Juanda Surabaya.

Untuk pelaksanaan pembinaan penyelenggaraan fasilitas elektronika dan kelistrikan yang meliputi perencanaan, penyediaan, pemasangan, pengoperasian dan pemeliharaan peralatan oleh Direktorat Jendral Perhubungan Udara perlu dibutuhkan instalasi penerangan bandar udara (*Airfield Lighting System*) yang mengacu pada standar *International Civil Aviation Organization (ICAO)* yang dijabarkan dalam ANNEX 14, Peraturan Umum Instalasi Listrik (PUIL) dan Standart Industri Indonesia (SII) [1]

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan pemaparan latar belakang yang telah diuraikan, maka permasalahan dalam penelitian ini dapat dirumuskan sebagai berikut:

1. Bagaimana mengidentifikasi parameter yang mempengaruhi kuat penerangan runway di Bandar Udara Internasional Juanda Surabaya telah memenuhi standar yang ditetapkan oleh *International Civil Aviation Organization (ICAO) Annex 14*.

2. Bagaimana tingkat efisiensi dan efektivitas penerangan runway saat ini di Bandar Udara Internasional Juanda Surabaya?
3. Bagaimana mengidentifikasi kekurangan atau kelemahan dalam sistem penerangan runway yang ada saat ini berdasarkan evaluasi terhadap standar *Internasional Civil Aviation Organization (ICAO) Annex 14*?
4. Bagaimana melakukan kelayakan Kuat Penerangan *Runway* Di Bandar Udara Internasional Juanda Surabaya Berbasis *International Civil Aviation Organization (ICAO) Annex 14*.

1.3 Batasan Masalah

Agar ruang lingkup permasalahan tidak berkembang terlalu luas, penyusunan Tugas Akhir ini dibatasi oleh beberapa batasan permasalahan sebagai berikut:

1. Penelitian ini hanya akan mengevaluasi sistem penerangan *Runway* di Bandar Udara Internasional Juanda Surabaya dan tidak mencakup area lain seperti taxiway, apron, atau area terminal.
2. Evaluasi akan dilakukan berdasarkan standar yang ditetapkan oleh *Internasional Civil Aviation Organization (ICAO) Annex 14*, tanpa mempertimbangkan standar atau regulasi lokal yang mungkin berbeda.
3. Data yang digunakan dalam penelitian ini diperoleh melalui observasi langsung di lapangan, studi pustaka, serta wawancara dengan personel terkait di Bandar Udara Internasional Juanda Surabaya. Proses pengumpulan data tidak melibatkan pengukuran teknis yang memerlukan penggunaan peralatan khusus.

1.3 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan yang ingin dicapai melalui penyusunan Tugas Akhir ini merupakan sebagai berikut:

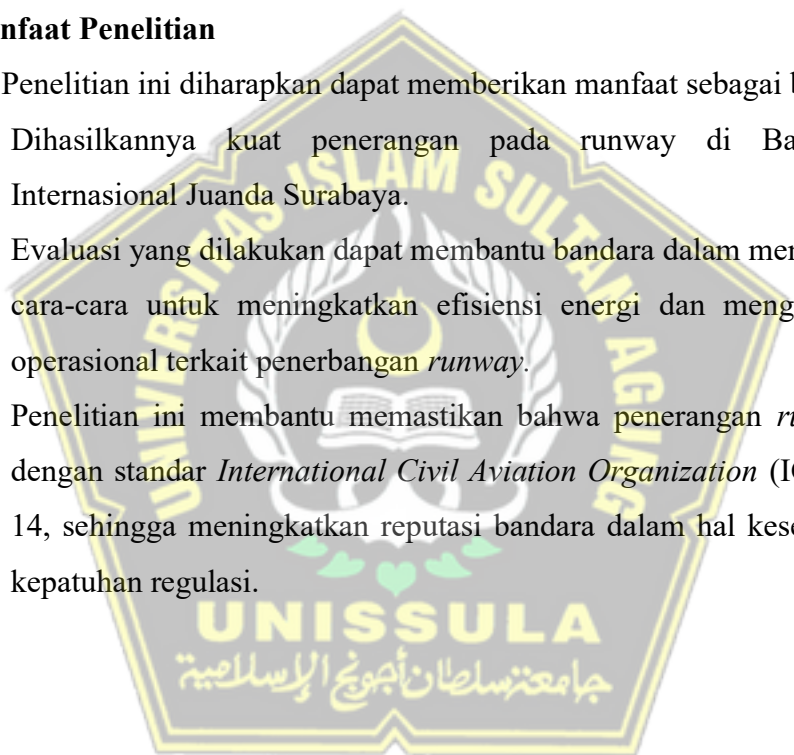
1. Menilai kesesuaian sistem penerangan *runway* di Bandar Udara Internasional Juanda Surabaya dengan standar *International Civil Aviation Organization (ICAO) Annex 14*.

2. Mengukur Tingkat efisiensi dan efektivitas penerangan *runway* saat ini di Bandar International Juanda Surabaya.
3. Mengidentifikasi kekurangan atau kelemahan dalam sistem penerangan *runway* berdasarkan standar *International Civil Aviation Organization* (ICAO) Annex 14. Diketuinya kuat penerangan *runway* apakah sudah sesuai dengan standar *International Civil Aviation Organization* (ICAO) Annex 14.

1.4 Manfaat Penelitian

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan manfaat sebagai berikut:

1. Dihasilkannya kuat penerangan pada *runway* di Bandar Udara Internasional Juanda Surabaya.
2. Evaluasi yang dilakukan dapat membantu bandara dalam mengidentifikasi cara-cara untuk meningkatkan efisiensi energi dan mengurangi biaya operasional terkait penerangan *runway*.
3. Penelitian ini membantu memastikan bahwa penerangan *runway* sesuai dengan standar *International Civil Aviation Organization* (ICAO) Annex 14, sehingga meningkatkan reputasi bandara dalam hal keselamatan dan kepatuhan regulasi.



BAB II

TINJAUAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI

2.1 Tinjauan Pustaka

Tinjauan pustaka ini disusun sebagai acuan dan bahan pembanding bagi penelitian yang akan dilakukan. Beberapa penelitian terdahulu yang memiliki kesesuaian topik dengan penelitian ini dapat diuraikan sebagai berikut:

1. “Analisis Sistem Kelistrikan dan Pencahayaan *Runway Lighting* di Bandar Udara Budiarto Curug Kabupaten Tangerang.” Objek penelitian adalah lampu *runway light* dengan melakukan perhitungan pada total daya yang terpasang, tegangan kerja dan impedansi, besar daya pada setiap tingkat pencahayaan, kapasitas pengaman, rapat arus dan kha, serta intensitas cahaya pada *runway light* di bandara budiarto. Hasil penelitian bahwa total daya yang terpasang pada rangkaian *runway light* di bandara budiarto adalah sebesar 15000 watt, untuk tegangan kerja dan impedansi keseluruhan yang terpasang adalah sebesar 1,663v dan . Untuk daya maximal pada pencahayaan tingkat 5 adalah sebesar 9,330 watt, untuk kapasitas pengaman arus nominal yang mengalir pada MCCB adalah sebesar 26,8 A sementara MCCB yang terpasang adalah 80 A. Untuk nilai rapat arus didapat sebesar 1,1 A/ serta nilai kha yang didapat sebesar 7,59 *ampere* dan untuk intensitas cahaya didapat nilai tertinggi sebesar 177,1 lux pada sore hari dan 104,6 pada malam hari [2]
2. “Analisis Penambahan Jalur Circuit D pada Taxiway di Bandar Udara Internasional I Gusti Ngurah Rai – Bali.” Penelitian ini menjelaskan bahwa taxiway terdiri atas beberapa jenis, yaitu exit taxiway, parallel taxiway, dan high-speed taxiway. Taxiway berfungsi sebagai fasilitas penghubung antara runway dan apron, sehingga perencanaannya harus memenuhi sejumlah ketentuan teknis, antara lain jarak antara garis tengah taxiway dan garis tengah runway, lebar taxiway, wheel clearance, tingkat kemiringan, visibilitas, serta persyaratan terkait taxiway strip. Dalam penelitian ini, metode kualitatif digunakan untuk mendapatkan hasil. Dengan menerapkan

sirkuit tambahan pada *taxiway*, beban pada CCR di sirkuit C menjadi lebih ringan, dan jalur kabel dari CCR di sisi selatan menjadi lebih efisien serta lebih mudah menangani masalah pada jalur kabel tersebut.

3. Dalam proses penambahan sirkuit pada lampu *taxiway*, yang perlu diperhatikan adalah pekerjaan persiapan untuk aplikasi pembuatan izin bandara, pelaksana pekerjaan membuat Rencana Metode Kerja (MOWP) untuk pekerjaan rinci dan metode kerja, serta mengajukan bahan untuk persetujuan. Pelaksanaan pekerjaan harus sesuai dengan peraturan dan Prosedur Operasional Standar (SOP) [3]
4. “Analisa Konsumsi Daya Lampu Halogen dan LED di Bandar Udara Halim Perdanakusuma.” Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis perbandingan konsumsi daya antara lampu halogen dan lampu LED yang digunakan pada sistem pencahayaan Bandara Halim Perdanakusuma. Pencahayaan lapangan bandara merupakan instrumen keselamatan yang sangat penting bagi operasional penerbangan. Dalam sistem tersebut, terdapat dua jenis lampu yang umum digunakan, yaitu halogen dan LED. Pemilihan jenis lampu yang akan digunakan pada runway memerlukan pertimbangan teknis dan efisiensi energi. Penelitian ini dilakukan melalui studi literatur, observasi, dan wawancara untuk memperoleh data yang relevan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penggunaan lampu LED pada runway memberikan efisiensi konsumsi daya yang lebih tinggi dibandingkan lampu halogen., hal ini dapat dilihat dari efisiensi penghematan dan juga intensitas cahaya yang konstan [4]

2.2 Landasan Teori

2.2.1 Airport Lighting

Visual aid adalah sistem perangkat penerangan yang difungsikan untuk memberikan panduan serta informasi visual kepada pilot saat pesawat melakukan pendekatan ke bandar udara, baik dalam proses pendaratan, lepas landas, maupun fase operasi penerbangan lainnya.

Airport Lighting atau disebut *Airfield Lighting System* (AFL) merupakan bagian dari *visual aid*. *Visual aid* merupakan perangkat bantu visual berbasis pencahayaan yang digunakan di bandar udara untuk mendukung pergerakan pesawat, terutama saat proses pendaratan (*landing*), lepas landas (*take off*), maupun operasi penerbangan lainnya. Syarat-syarat *Airport Lighting* :

1. Harus mempunyai kehandalan yang sangat tinggi.
 2. Setiap unit lampu harus memiliki tingkat intensitas cahaya yang seragam.
 3. Setiap lampu harus menghasilkan cahaya yang stabil.
 4. Sistem harus memiliki tingkat keamanan yang tinggi. Adapun fungsi *Airport Lighting* adalah sebagai berikut:
 - a) Untuk memberikan arahan dan bantuan bagi pesawat selama proses pendaratan dan lepas landas, khususnya pada malam hari atau dalam kondisi cuaca yang tidak mendukung.
 - b) Untuk meminimalkan potensi kesalahan akibat kondisi lingkungan di sekitar bandar udara, khususnya karena adanya cahaya dari permukiman penduduk yang dapat mengganggu persepsi visual pilot.
- Cara pemasangan pada *Airport Lighting* yaitu dengan :
- a) Rangkaian paralel atau disebut *pararel circuit*.
 - b) Rangkaian seri atau disebut *series circuit*.

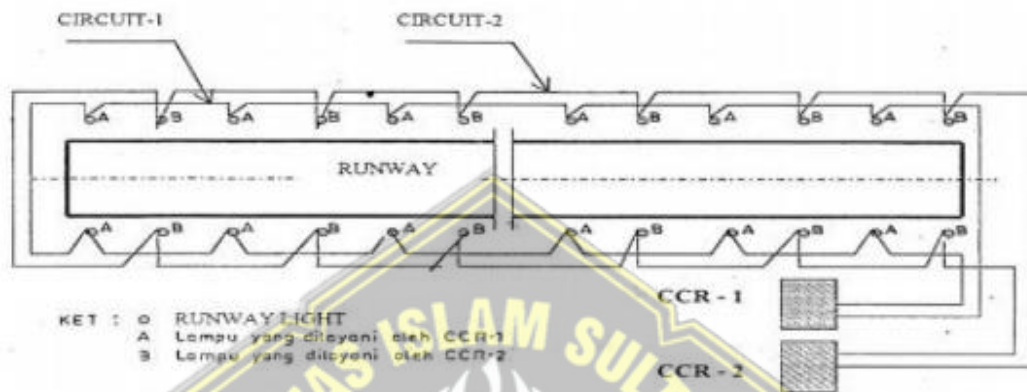
2.2.2 Runway Lighting

Runway Lighting digunakan sebagai area untuk pendaratan dan lepas landas pesawat udara, sehingga dapat dikatakan bahwa *runway* adalah salah satu elemen paling penting dalam suatu bandar udara. Adapun *Runway Lighting* berfungsi sebagai alat bantu visual bagi penerbang untuk memberikan berbagai tanda atau isyarat selama pesawat akan melakukan proses lepas landas maupun pendaratan.

2.2.3 CCR (Constan Current Regulator)

CCR (*Constant Current Regulator*) adalah perangkat yang digunakan untuk mengatur arus konstan serta tingkat brightness pada alat bantu visual yang terdapat pada *Airfield Lighting*. Untuk mencapai tingkat keandalan yang tinggi, sistem *Runway Lighting* umumnya dirancang dengan dua rangkaian seri yang terpisah

atau melalui konfigurasi dua rangkaian akhir. Dengan demikian, apabila salah satu rangkaian mengalami gangguan atau tidak berfungsi, rangkaian lainnya tetap dapat beroperasi melalui mekanisme pengaturan arus pada CCR. Pemasangan CCR secara seri dipilih karena memberikan sejumlah keuntungan, bisa dilihat pada Gambar 2.1.



Gambar 2. 1 Circuit Yang dilengkapi 2 CCR [5]

- a. Intensitas cahaya disetiap lampu seragam.
- b. Penggunaan kabel tidak perlu penampang kabel tidak perlu besar.

Adapun fungsi CCR adalah sebagai sumber catu daya arus konstan yang digunakan untuk memasok energi pada peralatan Airfield Lighting System (AFL).

Adapun persyaratan yang harus dipenuhi oleh CCR adalah sebagai berikut:

- a. Memiliki tingkat keandalan yang tinggi serta mampu menyediakan arus secara stabil dan konstan.
- b. Hanya dapat dioperasikan melalui sistem kendali jarak jauh (remote control), misalnya dari menara pengawas.
- c. Diperlukan adanya perangkat sistem pengaman yang terintegrasi.
 - 1) *Open Circuit*: Segera memberi indikasi pada lampu atau alarm apabila terjadi open circuit.
 - 2) *Eart Leakage*: Segera memberika indikasi pada lampu atau alarm apabila terjadi kegagalan isolasi atau disebut hubung singkat pada tanah.
 - 3) *Overload Relay*: Peralatan switching ini sensitif terhadap perubahan suhu dan akan mengaktifkan atau menonaktifkan kontaktor apabila suhu yang terdeteksi melampaui batas yang telah ditetapkan. [6], [7]

2.2.4 Runway Marking

Runway Marking adalah sistem penandaan atau penanda yang digunakan di *Runway* bandara untuk memberikan informasi penting kepada pilot untuk kondisi pada *Runway*, batas-batasnya, dan panduan navigas yang diperlukan selama lepas landas, mendarat dan taxiing parking, dapat dilihat pada Gambar 2.1.

a. *Runway Lighting*

Adalah garis berwarna putih yang dipasang sepanjang *runway*, baik di sisi maupun di bagian tengahnya. Selain itu, lampu runway juga ditempatkan pada area ujung runway.

b. *Pre-Threshold*

Adalah garis berwarna putih yang dipasang sepanjang *runway*, baik di sisi maupun di bagian tengahnya. Selain itu, lampu runway juga ditempatkan pada area ujung *runway*.

c. *PAPI (Precision Approach Path Indicator)*

Merupakan perangkat bantu visual yang berfungsi memberikan informasi panduan kepada pilot untuk membantu mempertahankan posisi pesawat secara vertikal serta memastikan proses pendekatan yang akurat menuju touch down point pada runway. Umumnya, PAPI ditempatkan di sisi *runway* pada jarak sekitar 300 meter dari batas awal runway.

d. *Runway Designator*

Adalah tanda berwarna putih berupa dua angka atau kombinasi dua angka dan satu huruf yang ditempatkan pada threshold serta runway center line marking sebagai identitas runway. Marking ini berfungsi sebagai penunjuk arah runway yang digunakan untuk proses lepas landas maupun pendaratan.

e. *Center Line*

Adalah Tanda ini terdiri atas garis putus-putus berwarna putih yang ditempatkan di bagian tengah sepanjang *runway*. Garis dan celah penyusunnya memiliki panjang minimal 50 meter dan maksimal 75 meter, serta berfungsi sebagai penunjuk posisi garis tengah *runway*.

f. Touchdown

Adalah tanda pada runway yang tersusun dari pasangan garis berwarna putih yang ditempatkan di sisi kiri dan kanan garis tengah runway, yang berfungsi menunjukkan panjang runway yang masih tersedia untuk pesawat saat melakukan pendaratan.

g. Aiming Point

Adalah tanda pada runway yang berupa dua garis lebar berwarna putih yang berfungsi sebagai penunjuk lokasi awal tempat roda pesawat diharapkan pertama kali menyentuh permukaan runway saat proses pendaratan.

h. Threshold

Adalah tanda berupa garis putih yang sejajar dengan arah runway dan ditempatkan pada jarak 6 meter dari awal runway, yang berfungsi sebagai penanda titik awal area yang dapat digunakan untuk pendaratan.

i. Stopway

Adalah area berbentuk persegi pada permukaan tanah di ujung landasan yang disiapkan sebagai zona aman bagi pesawat apabila terjadi kegagalan proses lepas landas (*take off*)[8]

2.2.5 Runway Edge Lighting System

Runway Edge Lighting System Adalah fungsi *Runway Edge Lighting* merupakan sistem penerangan runway yang disusun dari rangkaian lampu yang dipasang pada jarak tertentu di sepanjang tepi kiri dan kanan runway. Penerangan ini berfungsi memberikan isyarat kepada pilot selama proses pendaratan dan lepas landas, baik pada siang hari, kondisi cuaca buruk, maupun malam hari. Unit lampu dipasang secara simetris membentuk garis lurus dengan jarak antarlampu maksimal 60 meter untuk *instrument runway*, sedangkan jarak pemasangan lampu dari tepi runway adalah sekitar 3 meter. Jumlah lampu yang digunakan sepanjang runway ditentukan berdasarkan jarak pemasangan maksimum tersebut, yaitu tidak lebih dari 60 meter antarunit.

Warna cahaya lampu yang digunakan pada sistem penerangan runway umumnya merupakan cahaya putih untuk daerah yang tidak berkabut, sedangkan

cahaya kuning digunakan pada wilayah yang sering mengalami kabut. Di Indonesia, lampu berwarna putih lebih banyak digunakan karena kondisi iklim tropis yang cenderung tidak berkabut. Penerangan dengan cahaya putih ini termasuk dalam kategori *Visual Flight Rules* (VFR). Menurut manual VATUSA basic ATC *Lesson* indikasi dari VFR yaitu ketika berawan berada di atau lebih dari 1000 *feet* diatas permukaan tanah dan jarak pandang 3 *Statute miles*. Dengan demikian, intensitas cahaya dapat disesuaikan dengan kondisi cuaca yang terjadi saat pesawat melakukan pendaratan maupun lepas landas. Pengaturan tingkat intensitas cahaya di bandar udara tersebut ditetapkan oleh petugas pengatur lalu lintas udara (*Air Traffic Controller* atau ATC).

2.2.6 Runway Center Line Lighting System

Runway Center Line Lighting merupakan lampu penerangan *runway* yang dipasang pada lokasi *Runway Centre Line*. *Runway Centre Line* dipasang pada beberapa *runway* pendekatan presisi untuk memfasilitasi pendaratan dalam kondisi jarak pandang yang merugikan kepada penerbang. *Runway Centre Line* terletak disepanjang garis tengah pada *runway* dan diberi jarak dengan interval 50 kaki. Jika dilihat dari ambang pendaratan, lampu garis tengah Runway berwarna putih hingga 3.000 kaki terakhir *runway*. Lampu putih mulai bergantian dengan warna merah untuk 2.000 kaki berikutnya, dan untuk 1.000 kaki terakhir *runway*, semua lampu garis tengah berwarna merah.

Warna lampu yang digunakan ditetapkan sesuai ketentuan sebagai berikut:

a. Putih

Rentang area yang dihitung mulai dari *Runway Threshold* hingga mencapai titik yang berada pada jarak 900 meter dari ujung *runway*.

b. Putih-merah

Rentang area dimulai dari titik yang berjarak 900 meter dari ujung *runway* hingga titik yang berada 300 meter dari *runway end*.

c. Merah

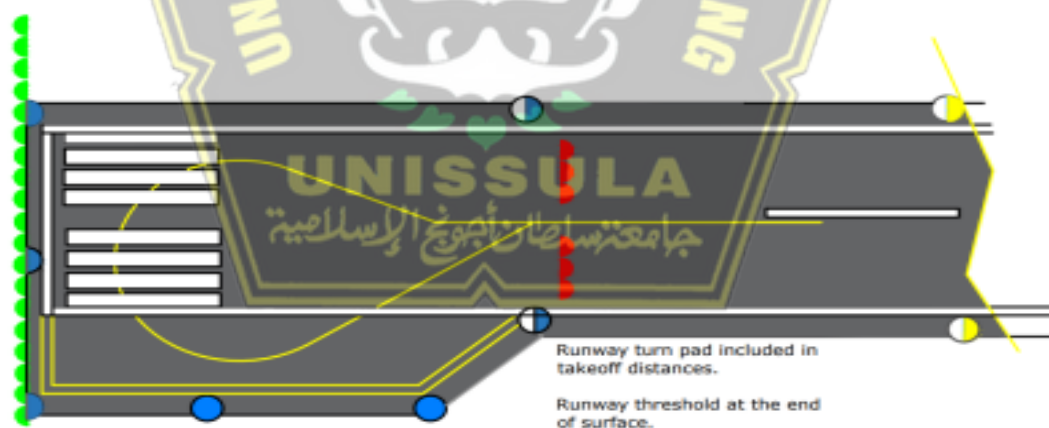
Area ini mencakup wilayah dari titik yang berjarak 300 meter dari *Runway End* hingga mencapai ujung *runway* itu sendiri. Adapun jenis lampu yang diwajibkan untuk digunakan pada area tersebut adalah *Inset Light*.

2.2.7 Turning Area Lighting System

Adalah rambu penerangan pada Runway untuk memberi tanda bahwa di daerah ini terdapat tempat pemuatan di ujung *Runway Edge Light* pada pesawat terbang. Warna cahaya cahaya dipakai adalah berwarna biru.

2.2.8 Runway Threshold Lighting System

Threshold Lighting merupakan sistem penerangan yang digunakan pada tahap akhir pendekatan pesawat menuju landasan saat melakukan pendaratan, di mana pilot harus menentukan keputusan untuk melanjutkan pendaratan atau melakukan *go-around*. *Threshold Lighting* berfungsi sebagai penanda visual yang menunjukkan batas awal landasan. Lampu ini dipasang pada ambang *runway* dengan konfigurasi warna hijau dan merah, dengan jarak antarunit sekitar 1,5 meter. Dari arah pesawat yang akan mendarat, lampu ini memancarkan cahaya berwarna hijau sebagai indikasi batas awal landasan, sedangkan dari arah pesawat yang meninggalkan *runway* akan tampak sebagai cahaya merah, dapat dilihat pada Gambar 2.2.



Gambar 2. 2 Runway Threshold [9]

A. Peralatan Yang digunakan

Peralatan yang digunakan dalam sistem *runway lighting*, khususnya pada CCR, harus memenuhi beberapa kriteria sebagai berikut:

1. Transformator

Dalam pemasangan lampu-lampu pada sistem *runway lighting*, diperlukan penggunaan beberapa jenis trafo, yaitu:

a. Isolating Transformator

Isolating Transformer merupakan perangkat yang digunakan di bandar udara untuk mengatasi dan mencegah terjadinya gangguan pada sistem rangkaian listrik. Dalam pemasangan *Runway Lighting* perlu dibagi menjadi dua sirkuit. Setiap sirkuit menyediakan listrik ke lampu landasan melalui isolasi transformator dalam seri bolak-balik dengan memperhatikan distribusi beban ke sama dan disusun dengan sedemikian rupa agar setiap pasangannya lampu *runway* yang berlawanan dihubungkan ke lampu yang sama pada rangkaian, sehingga jika salah satu rangkaian mati, maka jarak antar lampu yang menyala akan sama.

b. Trafo Tenaga

Power transformer merupakan perangkat dalam sistem tenaga listrik yang berfungsi menyalurkan daya listrik dengan cara mengubah tingkat tegangan dari tegangan tinggi ke tegangan yang lebih rendah. Pada umumnya, transformator tenaga ditanahkan pada titik netral sesuai dengan kebutuhan sistem pengamanan dan proteksi. Sebagai contoh, transformator 150/70 kV ditanahkan secara langsung pada sisi netral 150 kV, sedangkan transformator 70/20 kV ditanahkan melalui tahanan pada sisi netral 20 kV. Selain itu, setiap transformator yang diproduksi wajib melalui serangkaian pengujian sesuai dengan standar yang telah ditetapkan.

Dalam sistem distribusi pada landasan bandar udara, digunakan trafo seri untuk memastikan arus listrik yang mengalir pada rangkaian memiliki besaran yang sama sehingga intensitas cahaya pada setiap titik juga seragam. Proses ini didukung oleh penggunaan *Constant Current Regulator* (CCR) yang berfungsi mengatur distribusi arus secara konstan di seluruh sistem penerangan [10].

2. Intensitas Cahaya

Intensitas cahaya merupakan besarnya energi radiasi yang dipancarkan sebagai cahaya menuju suatu titik tertentu, dengan rumus ditunjukkan dalam bentuk persamaan [1]

$$I = \frac{\phi}{\omega} \dots\dots\dots(2.1)$$

dengan I = Intensitas Cahaya (cd)

ϕ = Fluks Cahaya (Lumen)

ω = Besar Sudut Ruang Pada Suatu Titik Cahaya

3. Arrester

Definisi Arrester adalah secara umum arti dari alat ini sendiri adalah suatu alat yang dipasang untuk melindungi alat elektronik yang dipasang dari gangguan listrik yang tiba-tiba saja bisa menegang. Karena, jika sudah menegang akan berakibat fatal terhadap komponen lain disekitarnya. Contoh umumnya yang sering terjadi adalah ketika ada sambaran petir yang menyambar, biasanya akan membuat beberapa peralatan elektronik rusak. Namun, jika menggunakan alat ini semua akan terlindungi dengan baik.

4. Relay Proteksi

Relay proteksi adalah perangkat yang berfungsi untuk mendeteksi dan merespons gangguan yang terjadi pada saluran atau peralatan tenaga listrik. Peralatan ini bekerja dengan cepat ketika kondisi sistem tidak normal, dan secara otomatis mengoperasikan pemutus tenaga untuk memutuskan saluran yang mengalami gangguan tersebut.

Fungsi dari *Relay Proteksi* seperti berikut :

- a. Mendeteksi, mengukur, dan mengidentifikasi bagian sistem yang mengalami gangguan serta melakukan pemisahan terhadap bagian tersebut.
- b. Meminimalkan potensi kerusakan lanjutan pada peralatan atau bagian sistem yang mengalami gangguan.
- c. Mengurangi dampak gangguan terhadap bagian lain dari sistem yang tidak terdampak.
- d. Memperkecil bahaya bagi manusia dan sekitarnya.

5. Kontaktor

Kontaktor adalah komponen listrik yang berfungsi untuk menghubungkan atau memutuskan aliran arus listrik bolak-balik (AC). Perangkat ini sering digunakan bersama relay kontaktor dan umumnya dipasang pada panel kontrol listrik. Dalam

panel kontrol, kontaktor berperan sebagai saklar transfer maupun interlock. Selain itu, kontaktor dapat dioperasikan secara otomatis melalui pilot device atau sensor yang memiliki sensitivitas tinggi.

6. Resistor

Pengertian Resistor adalah penghambat atau merupakan komponen elektronik dengan dua pin yang berfungsi untuk mengatur besaran tegangan dan arus listrik. Resistor memiliki nilai resistansi tertentu yang menghasilkan perbedaan tegangan di antara kedua pin tersebut. Besar tegangan yang muncul berbanding lurus dengan arus yang mengalir melalui resistor, sesuai dengan persamaan Hukum Ohm seperti pada persamaan [1].

$$R = \frac{V}{I} \text{ atau } V = I R \dots \dots \dots (2.2)$$

dengan V = beda potensial, dinyatakan dalam Volt (V)

I = Kuat arus listrik, dinyatakan dalam ampere (A)

R = hambatan listrik, dinyatakan dalam ohm (Ω)

7. Lampu Pijar

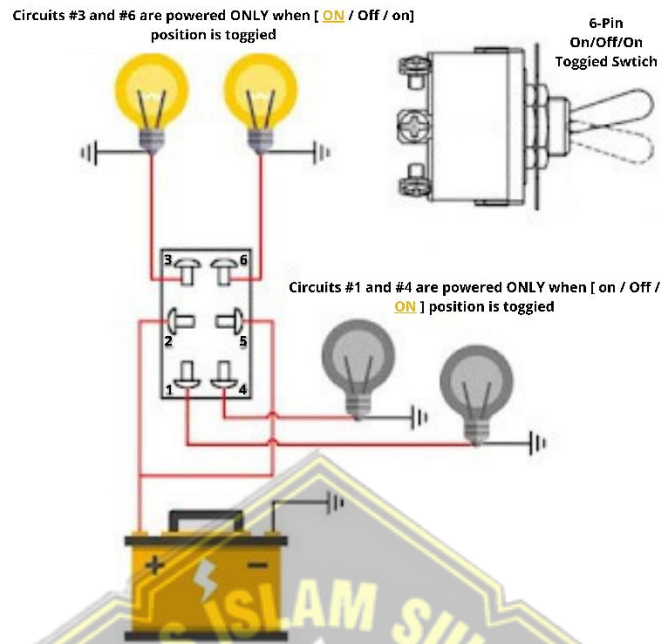
Prinsip kerja lampu pijar pada dasarnya sangat sederhana. Ketika arus listrik mengalir melalui filamen yang memiliki resistivitas tinggi, timbul rugi daya yang menghasilkan panas sehingga filamen berpijar. Arus listrik yang mengalir menyebabkan elektron bebas bergerak dan bertumbukan dengan elektron-elektron terikat pada inti atom. Tumbukan tersebut membuat elektron terikat berpindah ke orbit yang lebih tinggi. Ketika elektron tersebut kembali ke orbit semula, kelebihan energi dilepaskan dalam bentuk cahaya atau panas, bergantung pada panjang gelombang energi yang dipancarkan dapat dilihat pada Gambar 2.3.



Gambar 2. 3 Konstruksi Lampu Pijar

8. *Selector Switch*

Selector switch atau saklar pemilih merupakan komponen listrik yang umumnya ditempatkan di luar panel listrik dan berfungsi untuk memilih mode operasi atau mengubah arah aliran arus listrik melalui mekanisme pemutaran ke kanan atau ke kiri. Saklar ini dioperasikan dengan cara memutar dan digunakan pada rangkaian yang membutuhkan lebih dari dua posisi pilihan. *Selector switch* banyak diaplikasikan pada sumber catu daya untuk menentukan tegangan keluaran, sebagai pemilih fungsi pengukuran (Ohm, Volt, dan Ampere) pada multimeter, pengatur suhu pada oven, serta berbagai aplikasi lainnya. *Selector Switch* atau saklar pemilihnya juga sering disebut dengan *Rotary Switch* dapat dilihat pada Gambar 2.4.



Gambar 2. 4 Selector Switch

9. Cahaya

Cahaya merupakan fenomena fisik yang terjadi ketika suatu sumber cahaya memancarkan energi, di mana sebagian dari energi tersebut berubah menjadi cahaya tampak. Perambatan cahaya di ruang bebas berlangsung melalui gelombang elektromagnetik dengan kecepatan sekitar $3 \times 10^8 \times 10^3 \times 10^5$ kilometer per detik dalam bentuk persamaan [1]

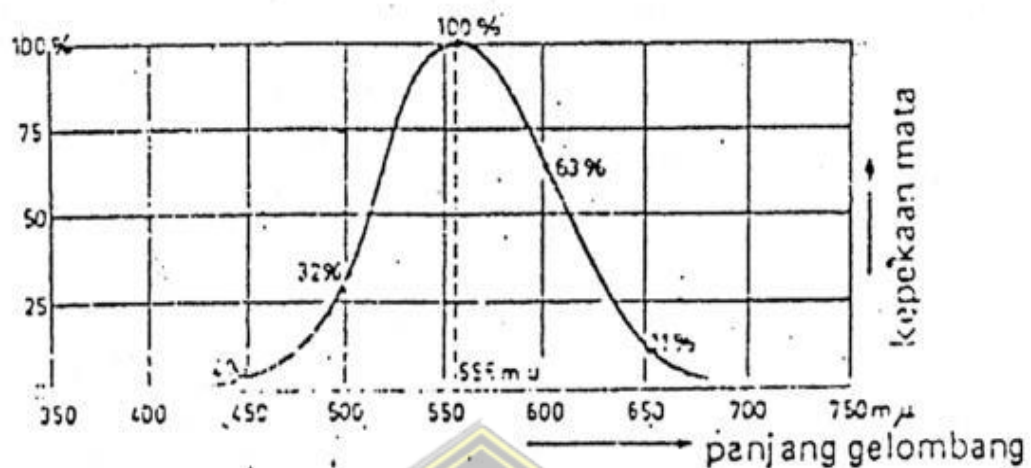
$$\lambda = \frac{V}{F} \dots\dots\dots (2.3)$$

dengan λ = Panjang Gelombang (v)

V = Kecepatan Rambat Gelombang (m/s)

F = Frekuensi Gelombang (Hz)

Panjang gelombang pada cahaya berkisar pada 380-780 mu, dengan penguraian warna, pada tiap panjang gelombang cahaya juga memberi kesan intensitas tertentu yang diterima oleh mata. Pada mata manusia itu paling peka terhadap panjang gelombang 555 mu, yaitu warna tertentu seperti cahaya berwarna kuning dan hijau. Berikut disajikan kurva sensitivitas mata manusia terhadap variasi panjang gelombang cahaya sebagaimana ditampilkan pada Gambar 2.5.



Gambar 2. 5 Grafik Kepekaan Mata Manusia [11]

10. Kesilauan cahaya

Kesilauan cahaya adalah fenomena optik yang terjadi ketika cahaya yang sangat terang atau terpolarisasi memasuki mata atau kamera secara langsung. Terpolarisasi ini dapat menyebabkan penglihatan terganggu atau bahkan nyeri pada mata.

Kesilauan cahaya terjadi karena adanya pantulan atau penyebaran cahaya yang sangat terang. Ketika cahaya yang intens memasuki mata, sebagian besar cahaya dapat dipantulkan atau dihamburkan oleh berbagai struktur dalam lensa mata. Ini menciptakan efek cahaya yang terlalu terang, ini dapat mengakibatkan kontras yang tinggi dan sulit bagi mata untuk menangani.

11. Kabel tanah

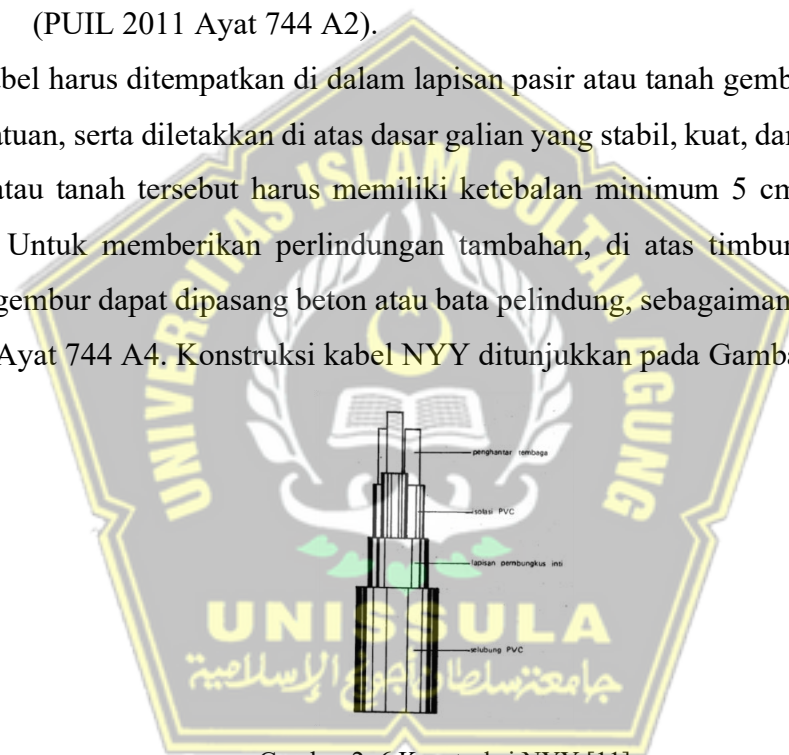
Kabel tanah pada umumnya menggunakan isolasi berbahan termoplastik, seperti jenis NYY, NAYY, NYFG, dan FLYCY. Selain itu, terdapat pula kabel tanah yang menggunakan isolasi kertas, seperti tipe GPLKH. Kabel tanah jenis NYY merupakan salah satu jenis kabel listrik bawah tanah yang menggunakan konduktor berbahan tembaga dan memiliki isolasi PVC yang dirancang untuk instalasi dibawah tanah. Kabel ini umumnya digunakan untuk distribusi daya pada sistem tenaga listrik rendah hingga menengah, seperti didalam gedung atau infrastruktur perkotaan. Kabel NYY memiliki lapisan pelindung yang tahan terhadap kondisi tanah dan lingkungan dibawah permukaan. Cara pemasangan

kabel tanah yang telah diatur dalam pasal PUIL 744. Antara lain ditentukan sebagai berikut.

Kabel tanah yang dipasang di bawah permukaan tanah harus mendapatkan perlindungan dari potensi kerusakan akibat gangguan mekanis maupun kimiawi. Oleh karena itu, instalasi kabel tanah harus memenuhi ketentuan-ketentuan berikut:

1. Minimum 80 cm dibawah permukaan tanah pada jalan yang dilalui kendaraan.
2. Minimum 60 cm dibawah permukaan tanah yang tidak dilalui kendaraan. (PUIL 2011 Ayat 744 A2).

Kabel harus ditempatkan di dalam lapisan pasir atau tanah gembur yang bebas dari batuan, serta diletakkan di atas dasar galian yang stabil, kuat, dan rata. Lapisan pasir atau tanah tersebut harus memiliki ketebalan minimum 5 cm di sekeliling kabel. Untuk memberikan perlindungan tambahan, di atas timbunan pasir atau tanah gembur dapat dipasang beton atau bata pelindung, sebagaimana diatur dalam PUIL Ayat 744 A4. Konstruksi kabel NYY ditunjukkan pada Gambar 2.6.



Gambar 2. 6 Konstruksi NYY [11]

12. Penentuan Panampang Penghantar

Pengertian penentuan penampang penghantar adalah proses menetapkan ukuran luas penampang yang sesuai untuk kabel atau penghantar listrik yang akan digunakan dalam suatu instalasi kelistrikan. Penentuan penampang penghantar dalam konteks instalasi listrik merujuk pada proses menentukan ukuran atau area lintang penghantar yang digunakan suatu sistem listrik. Penampang penghantar ini sangat penting karena berpengaruh pada kapasitas arus yang dapat ditangani oleh penghantar dan sekaligus menentukan performa keseluruhan sistem.

13. Penentuan Kuat Hantar Arus (KHA) Penghantar

Penentuan Kuat Hantar Arus (KHA) penghantar merujuk pada proses menentukan kemampuan suatu material penghantar listrik untuk menghantarkan panas. KHA mengukur sejauh mana penghantar mampu mengalirkan panas tanpa mengalami kenaikan suhu yang berlebihan. Konsep ini penting dalam perencanaan sistem kelistrikan karena panas yang dihasilkan oleh arus listrik yang dapat mempengaruhi kinerja dan keamanan suatu instalasi.

Secara fisika, hambatan jenis menggambarkan kemampuan suatu material dalam menghantarkan arus listrik. Semakin kecil nilai KHA (Konduktivitas Hambatan Jenis) suatu bahan, maka semakin baik kemampuan bahan tersebut dalam menghantarkan listrik.

Dalam pemilihan suatu penghantar, nilai KHA penghantar harus sama dengan atau lebih besar dari arus beban yang mengalir. Berdasarkan Persyaratan Umum Instalasi Listrik (PUIL 2011). Nilai KHA ditunjukkan pada persamaan IES Lighting Handbook, 10th Edition (2020).

$$KHA = 1,15 \times I_{\text{Nominal}} \dots\dots\dots(2.4)$$

14. Armatur Pelampuan Bandar Udara

Pengertian Armatur penerangan bandar udara adalah perangkat pencahayaan khusus yang dirancang untuk memenuhi standar visibilitas dan membantu aktivitas operasional pesawat di area bandar udara. Armatur penerangan bandar udara adalah perangkat pencahayaan yang dirancang khusus untuk digunakan di area bandar udara, seperti Runway, apron, dan area terkait bandar udara. Armatur ini memenuhi persyaratan tertentu untuk memberikan tingkat pencahayaan yang optimal dan keamanan bagi operasi penerbangan.

Dudukan armatur lampu perlu diperiksa dan, apabila diperlukan, dilakukan penyetelan ulang terhadap level serta arah pancaran cahayanya. Baut-baut pengikat juga harus dikencangkan kembali, dan bagian yang mengalami karat dibersihkan serta dicat ulang bila diperlukan. Kegiatan pemeliharaan ini telah dilaksanakan sesuai dengan SOP yang ditetapkan berdasarkan panduan Annex 14 dan *Airport Service Manual Part 9* [12] Adapun bentuk-bentuk dari armatur pelampuan pada bandar udara seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.7. dan 2.8..



Gambar 2. 7 Armatur ambang utama



Gambar 2. 8 Armatur ambang sisi landasan dan landasan hubung

2.2.9 Intensitas Cahaya dan Iluminansi

Intensitas cahaya (I) adalah besaran fotometrik yang menyatakan kuat cahaya yang dipancarkan oleh suatu sumber ke arah tertentu per satuan sudut ruang. Intensitas cahaya dinyatakan dalam satuan candela (cd) dan dirumuskan sebagai persamaan (2.5).

$$I = \frac{\Phi}{\omega} \dots \dots \dots (2.5).$$

dengan:

I = intensitas cahaya (cd)

Φ = fluks cahaya (lumen)

ω = sudut ruang (steradian)

Iluminansi (E) adalah tingkat pencahayaan yang diterima oleh suatu permukaan akibat adanya intensitas cahaya dari sumber tertentu [16]. Iluminansi dinyatakan dalam satuan lux dan dipengaruhi oleh intensitas cahaya sumber serta jarak sumber cahaya terhadap bidang ukur. Secara teoritis, hubungan antara

intensitas cahaya dan iluminansi mengikuti hukum kuadrat terbalik (inverse square law), dalam persamaan (2.10).

$$E = \frac{I}{r^2} \dots \dots \dots (2.10).$$

dengan:

E = iluminansi (lux)

I = intensitas cahaya (cd)

r^2 = jarak antara sumber cahaya dan permukaan (m)

Persamaan (2.4) menunjukkan bahwa semakin jauh jarak sumber cahaya terhadap permukaan yang disinari, maka nilai iluminansi yang diterima akan semakin kecil. Prinsip ini menjadi dasar dalam evaluasi sistem penerangan landasan pacu (runway lighting) untuk memastikan bahwa tingkat iluminansi yang dihasilkan tetap memenuhi ketentuan yang ditetapkan dalam ICAO Annex 14.

Intensitas Cahaya Runway Lighting merupakan besaran yang menunjukkan jumlah cahaya yang dipancarkan oleh sistem penerangan landasan pacu. Intensitas cahaya Runway Lighting dinyatakan dalam satuan kandela (cd) dan dapat dihitung berdasarkan hubungan antara fluks cahaya dan luas bidang yang terkena cahaya, sebagaimana dirumuskan dalam persamaan berikut[1]:

$$\text{Intensitas Cahaya} = (\text{Lumens} / \text{Luas Bidang}) \dots \dots \dots (2.5)$$

Lumens merupakan besaran cahaya yang menunjukkan jumlah cahaya yang dipancarkan oleh sumber cahaya, sedangkan luas bidang adalah luas permukaan yang menerima pancaran cahaya.

Sebagai contoh, apabila sebuah *Runway Lighting* memiliki fluks cahaya sebesar 10.000 lumen dan luas bidang yang terkena cahaya sebesar 100 m², maka intensitas cahaya yang dihasilkan adalah:

$$\text{Intensitas Cahaya} = \frac{10.000}{100} = 100 \text{ cd/m}^2$$

Intensitas cahaya pada *Runway Lighting* wajib memenuhi standar yang telah ditetapkan oleh **International Civil Aviation Organization (ICAO)**. Standar intensitas cahaya berbeda-beda tergantung pada fungsi runway dan kondisi operasional bandara. Untuk kondisi cuaca cerah, standar intensitas cahaya *Runway Lighting* ditunjukkan pada Tabel 2.1.

Tabel 2. 1 Standar intensitas cahaya *Runway Lighting* untuk kondisi cuaca cerah

Runway	Intensitas Cahaya
Runway Utama	150 cd/m ²
Runway Sekutu	100 cd/m ²
Runway Darurat	76 cd/m ²

Untuk kondisi cuaca buruk, intensitas cahaya *Runway Lighting* harus ditingkatkan sebesar 50%.

2.2.10 Metode Perhitungan Beban pada Sistem Penerangan Runway

Dalam menganalisis sistem penerangan *runway* yang menggunakan rangkaian seri dengan CCR (*Constant Current Regulator*), dikenal dua pendekatan perhitungan beban yang secara teknis berbeda namun saling melengkapi, yaitu metode per titik beban (*point-by-point analysis*) dan metode total rangkaian (*aggregate circuit analysis*). Kedua pendekatan ini digunakan untuk menghitung parameter sistem seperti tegangan, tahanan, dan drop tegangan, baik secara detail per unit lampu maupun secara keseluruhan sistem.

1. Metode Perhitungan Beban Per Titik Beban

Metode perhitungan beban per titik beban merupakan metode yang menghitung kebutuhan daya listrik berdasarkan masing-masing titik beban atau armatur lampu yang terpasang pada sistem penerangan runway. Dalam metode ini, setiap lampu dianggap sebagai satu unit beban yang memiliki daya tertentu sesuai dengan spesifikasi pabrikan [13]

2. Metode Perhitungan Beban Total Rangkaian

Metode perhitungan beban total rangkaian merupakan metode yang menghitung beban listrik secara keseluruhan dalam satu rangkaian penerangan runway. Metode ini mempertimbangkan total daya lampu, rugi-rugi kabel, rugi-rugi transformator isolasi, serta karakteristik CCR sebagai pengatur arus konstan [14]

2.2.12 Kapasitas Beban Terpasang

Kapasitas beban *Runway Lighting* adalah kemampuan *Runway Lighting* untuk menahan beban yang diberikan oleh pesawat terbang. Kapasitas beban *Runway Lighting* dinyatakan dalam satuan kg/m².

Kapasitas beban *Runway Lighting* dapat dihitung dengan menggunakan Persamaan [1]:

$$\text{Kapasitas Beban: (Bebas Izin / Luas Pelat).....(2.6)}$$

Bebas izin adalah beban maksimum yang diizinkan untuk bekerja pada *Runway Lighting*. Bebas izin biasanya ditentukan oleh produsen *Runway Lighting*. Luas pelat adalah luas permukaan *Runway Lighting* yang terkena beban. Luas pelat dapat dihitung dengan menggunakan persamaan [1]:

$$\text{Luas Pelat} = \text{Panjang Pelat} \times \text{Lebar Pelat.....(2.7)}$$

1. Analisis Beban dan Drop Tegangan Sistem Penerangan Runway

Sistem penerangan runway umumnya menggunakan rangkaian seri (series circuit) yang dioperasikan dengan arus konstan melalui Constant Current Regulator (CCR). Dalam sistem ini, setiap lampu dihubungkan melalui isolating transformer, sehingga total beban sistem merupakan akumulasi dari beban tiap titik lampu. Oleh karena itu, analisis beban dan drop tegangan menjadi aspek penting untuk memastikan sistem bekerja secara aman dan efisien.

a. Tahanan Kabel Penghantar

Tahanan kabel penghantar dipengaruhi oleh panjang kabel dan tahanan jenis material penghantar. Secara umum, tahanan kabel dirumuskan sebagai:

$$R = \rho \times L.....(2.11)$$

dengan:

R = tahanan kabel (Ω)

ρ = tahanan jenis kabel (Ω/km)

L = panjang kabel (km)

Apabila panjang kabel dinyatakan dalam meter, maka diperlukan konversi satuan dari meter ke kilometer sehingga persamaan menjadi:

$$R = \rho \times \frac{l}{1000} \dots \dots \dots (2.12)$$

b. Drop Tegangan pada Penghantar

Bentuk dasar Hukum Ohm, yang menyatakan bahwa besarnya tegangan pada suatu penghantar sebanding dengan arus listrik yang mengalir dan nilai tahanan penghantar tersebut.

Pada sistem kelistrikan, khususnya sistem penerangan runway, kenaikan atau penurunan tegangan pada suatu penghantar terjadi akibat adanya tahanan listrik pada kabel dan sambungan. Ketika arus listrik mengalir melalui penghantar yang memiliki tahanan tertentu, maka akan timbul beda potensial listrik yang besarnya ditentukan oleh hasil perkalian antara arus dan tahanan.

Drop tegangan akibat tahanan penghantar dapat dihitung menggunakan hukum Ohm, yaitu:

$$V_R = I \times R \dots \dots \dots (2.13)$$

dengan:

V_R = drop tegangan resistif (V)

I = arus beban (A)

R = tahanan kabel (Ω)

Kenaikan tegangan pada suatu penghantar terjadi akibat adanya tahanan listrik yang dilalui oleh arus. Berdasarkan Hukum Ohm, besarnya kenaikan tegangan sebanding dengan arus listrik dan nilai tahanan penghantar seperti yang di rumuskan pada persamaan 2.13. Pada sistem penerangan runway yang menggunakan Constant Current Regulator (CCR), arus dijaga konstan, sehingga setiap peningkatan tahanan penghantar akan menyebabkan kenaikan tegangan secara proporsional.

c. Drop Tegangan Total Sistem

Dalam sistem penerangan runway, drop tegangan total merupakan kombinasi vektor antara drop tegangan resistif pada kabel dan drop tegangan induktif akibat isolating transformer. Drop tegangan total dirumuskan sebagai:

$$V_{total} = \sqrt{V_R^2 + V_L^2} \dots \dots \dots (2.14)$$

dengan:

V_L = drop tegangan pada isolating transformer (V)

d. Impedansi Sistem

Impedansi merupakan perbandingan antara tegangan total sistem terhadap arus beban dan dirumuskan sebagai:

$$Z = \frac{V_{total}}{I} \dots\dots\dots(2.15)$$

e. Tegangan Total Rangkaian Seri

Pada sistem rangkaian seri, tegangan total merupakan penjumlahan tegangan pada setiap titik beban, sehingga dapat dirumuskan sebagai:

$$V_{rangkai} = n \times V_{total} \dots\dots\dots(2.16)$$

dengan:

n = jumlah titik beban (lampu)

2.2.13 International Civil Aviation Organization (ICAO) Annex 14

International Civil Aviation Organization (ICAO) adalah sebuah badan khusus yang dibentuk untuk mengatur dan mengawasi standar keselamatan serta pengoperasian penerbangan sipil Perserikatan Bangsa-Bangsa yang bertanggung jawab menetapkan standar dan rekomendasi internasional untuk menjamin keselamatan, keamanan, serta efisiensi transportasi udara di seluruh dunia. Salah satu dokumen penting yang diterbitkan ICAO adalah Annex 14, yang memuat Standards and Recommended Practices (SARPs) mengenai desain, konstruksi, dan pengoperasian bandar udara, termasuk sistem penerangan runway. Annex 14 dijadikan acuan global agar setiap bandara mampu menyediakan lingkungan operasional yang aman dan sesuai standar internasional, khususnya untuk mendukung fase kritis penerbangan seperti pendaratan dan lepas landas.

Secara umum, Annex 14 Volume I – Aerodrome Design and Operations menjadi dasar utama dalam pengaturan aspek teknis aerodrome, mulai dari geometri runway, sistem marking, signage, hingga aerodrome lighting yang terdiri dari runway lighting, taxiway lighting, approach lighting, dan visual aids lainnya. Sistem penerangan runway menjadi salah satu bagian paling krusial dalam Annex 14 karena berfungsi memberikan panduan visual kepada pilot untuk menjaga

akurasi arah, jarak, dan posisi pesawat terutama pada malam hari atau kondisi visibilitas rendah.

Poin-poin penting Annex 14 terkait penerangan runway meliputi:

1. Ketentuan warna cahaya seperti lampu hijau untuk threshold, merah untuk runway end, putih untuk centerline dan edge, serta kuning pada bagian akhir runway sebagai zona kehati-hatian.
2. Jarak pemasangan lampu yang harus memenuhi persyaratan tertentu, misalnya runway edge berjarak maksimum 60 meter dan centerline maksimum 15 meter.
3. Standar intensitas cahaya yang berbeda untuk setiap jenis lampu runway, dinyatakan dalam satuan candela, disesuaikan dengan kategori runway (Precision atau Non-Precision).
4. Penggunaan arus konstan 6,6 Ampere pada seluruh lampu runway melalui Constant Current Regulator (CCR) untuk memastikan intensitas cahaya stabil.
5. Brightness Step (tingkatan kecerahan) yang memungkinkan lampu runway diatur mulai dari tingkat paling redup hingga paling terang sesuai kondisi cuaca dan visibilitas.
6. Persyaratan uniformity dan chromaticity yang menegaskan bahwa distribusi cahaya harus merata dan warna cahaya harus konsisten sesuai ketentuan ICAO [1].

Dengan demikian, Annex 14 menjadi landasan utama dalam evaluasi kuat penerangan runway karena menyediakan parameter baku terkait warna lampu, jarak pemasangan, intensitas cahaya, hingga persyaratan teknis kelistrikan. Standar ini memastikan bahwa runway dapat memberikan panduan visual yang memadai dan aman untuk operasional pesawat pada berbagai kondisi penerbangan.

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Model Penelitian

Bandara Juanda Surabaya merupakan bandar udara internasional yang melayani kebutuhan transportasi udara untuk Kota Surabaya, Provinsi Jawa Timur, serta wilayah sekitarnya. Bandar udara ini berlokasi di Kecamatan Sedati, Kabupaten Sidoarjo, sekitar 20 kilometer di sebelah selatan Kota Surabaya. Spesifikasi *runway* ditunjukkan pada Tabel 3.1, sedangkan spesifikasi lampu Runway ditunjukkan pada Tabel 3.2.

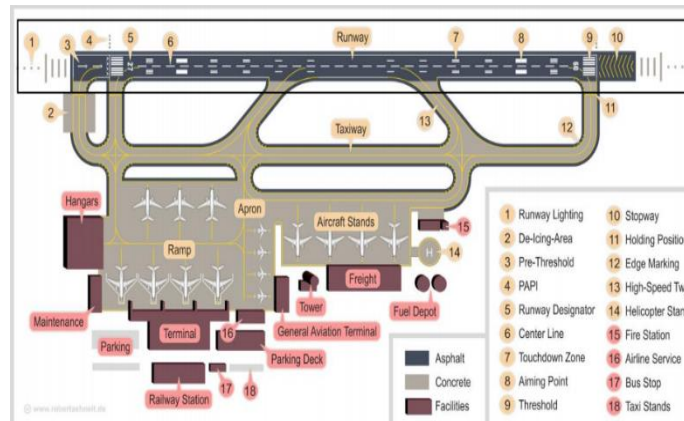
Tabel 3.1 Spesifikasi runway

Runway	Panjang Runway
Panjang Landasan	3.000 x 45 meter
Luas <i>Apron</i>	118.161 m ² (114 meter x 1036,5
Luas <i>Taxiway</i>	161.108,4 m ²

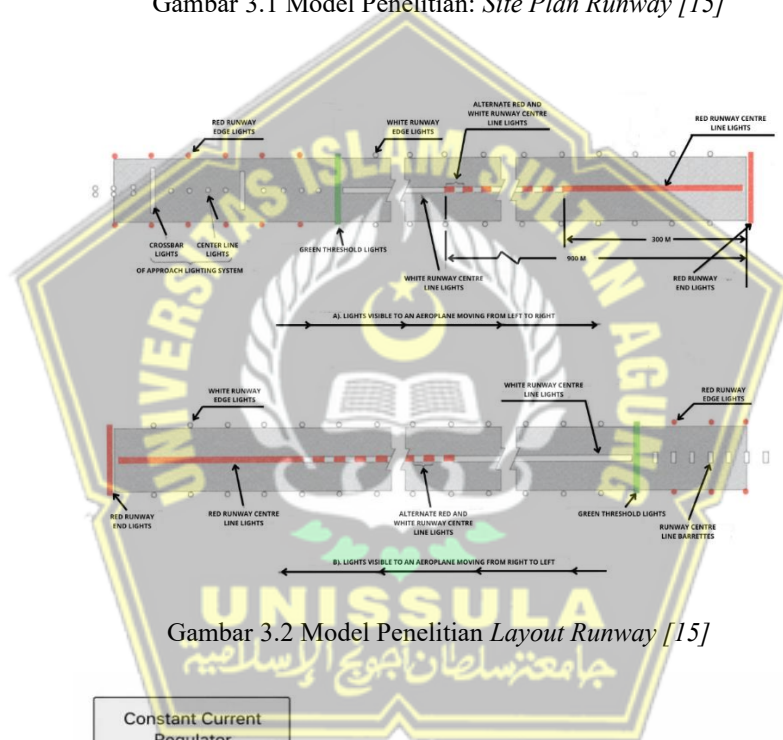
Tabel 3.2 Spesifikasi Lampu

Spesifik Lampu	Panjang Penempatan Lampu
<i>Red Runway Edge</i>	50 meter
<i>Red Runway Centre Line Lights</i>	300 meter
<i>White Runway Edge</i>	50 meter
<i>White Runway Centre Line Lights</i>	90 meter
<i>Centre Line Lights</i>	30-60 meter
<i>Crossbar Lights</i>	2,7 meter
<i>Runway Edge Lights</i>	6 meter
<i>Hight Intensity</i>	100 Watt, 150 Watt, dan 200 Watt
<i>Medium Intensity</i>	45 – 100 Watt
<i>Low Intensity</i>	30 - -45 Watt

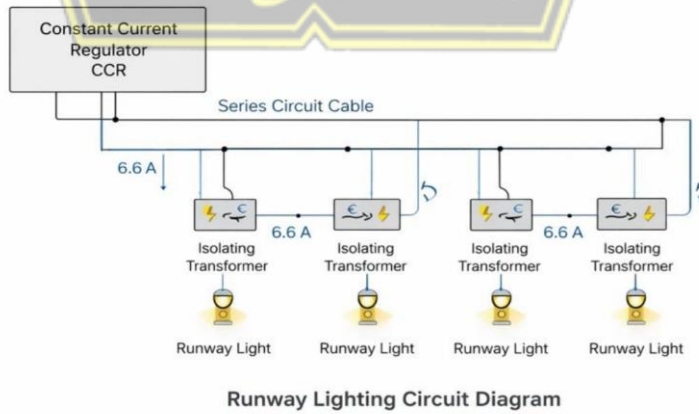
Model Penelitian ditentukan sebagai *runway* yang dilengkapi dengan sistem pencahayaan seperti ditunjukkan pada Gambar 3.1, 3.2 dan 3.3



Gambar 3.1 Model Penelitian: *Site Plan Runway* [15]



Gambar 3.2 Model Penelitian *Layout Runway* [15]



Runway Lighting Circuit Diagram

Gambar 3.3 *Runway Lighting Circuit Diagram* [15]

Gambar 3.3 menunjukkan rangkaian listrik sistem penerangan runway yang menggunakan Constant Current Regulator (CCR) sebagai sumber arus konstan sebesar 6,6 A. Sistem ini menggunakan rangkaian seri, di mana setiap lampu runway dihubungkan melalui isolating transformer. Penggunaan isolating transformer bertujuan untuk menjaga keselamatan sistem dan memastikan bahwa apabila terjadi kerusakan pada salah satu lampu, lampu lainnya tetap dapat beroperasi. Rangkaian seri ini umum digunakan pada sistem penerangan bandara sesuai dengan ketentuan ICAO Annex 14.

3.2 Waktu dan Tempat Penelitian

3.2.1 Tempat

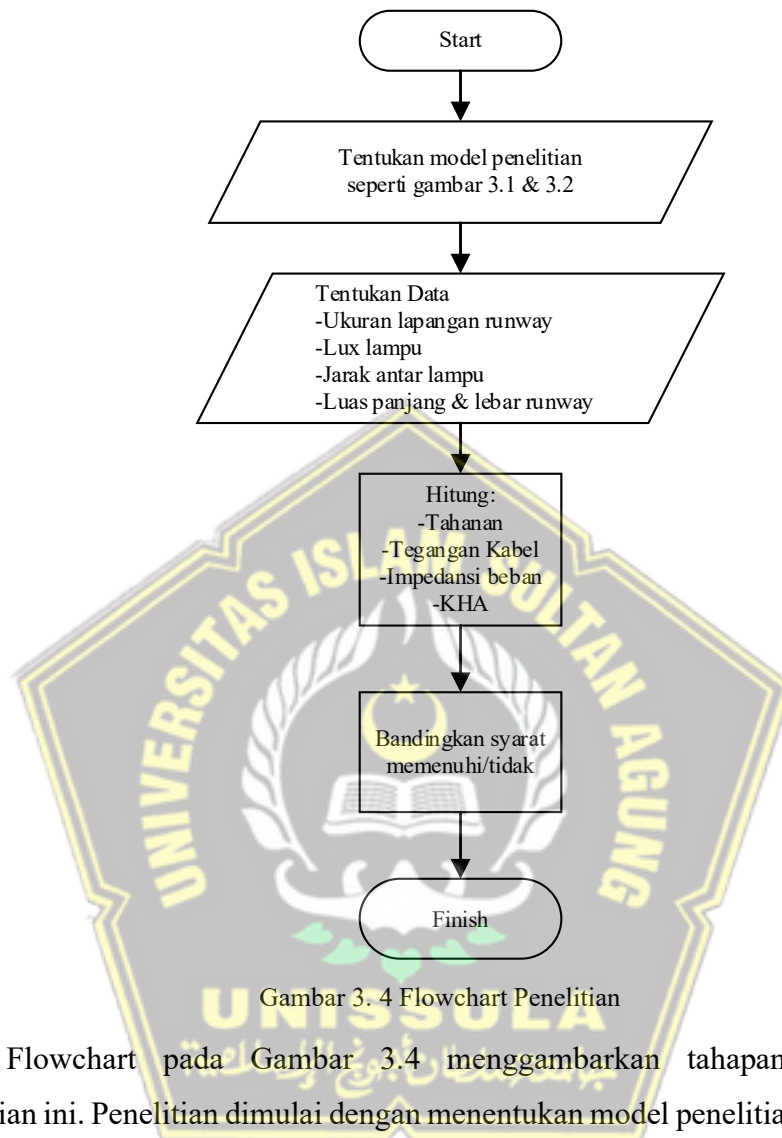
Penelitian ini dilakukan pada Bandar Udara Juanda Surabaya.

3.2.2 Metode Penelitian

Penelitian ini menerapkan pendekatan kombinasi antara metode kuantitatif dan kualitatif dalam melakukan evaluasi terhadap sistem penerangan runway di Bandar Udara Internasional Juanda Surabaya

- Metode kuantitatif digunakan untuk menganalisis data numerik, seperti perhitungan intensitas cahaya (lux dan candela), daya listrik (watt), tegangan (volt), dan resistansi kabel. Data kuantitatif ini diperoleh melalui perhitungan teknis berdasarkan spesifikasi teknis lampu, konfigurasi sistem kelistrikan, serta acuan standar dari International Civil Aviation Organization (ICAO) Annex 14.
- Metode kualitatif digunakan untuk mengevaluasi aspek non-teknis dan mendukung hasil pengukuran, seperti kebijakan pengoperasian sistem penerangan, peran *Air Traffic Control* (ATC) dalam pengendalian brightness level, dan pengaruh lingkungan (misalnya kelembaban tanah terhadap sambungan kabel). Data kualitatif diperoleh melalui studi literatur, dokumentasi teknis bandara, serta wawancara dengan teknisi lapangan dan personel ATC.

3.3 Flowchart Penelitian



Gambar 3. 4 Flowchart Penelitian

Flowchart pada Gambar 3.4 menggambarkan tahapan pelaksanaan penelitian ini. Penelitian dimulai dengan menentukan model penelitian, yaitu sistem penerangan runway berdasarkan konfigurasi yang ditunjukkan pada Gambar 3.1 dan 3.2. Selanjutnya dilakukan pengumpulan data teknis yang meliputi ukuran panjang dan lebar runway, jumlah dan spesifikasi lampu, tingkat lux lampu, serta jarak antar lampu. Setelah data terkumpul, dilakukan perhitungan teknis terhadap beberapa parameter penting seperti tahanan kabel, tegangan jatuh (voltage drop), impedansi beban, dan Kapasitas Hantar Arus (KHA). Seluruh tahapan ini dilakukan untuk mendukung proses evaluasi sistem penerangan runway dan memastikan bahwa sistem tersebut telah sesuai dengan standar keselamatan dan kelistrikan yang ditetapkan oleh International Civil Aviation Organization (ICAO) Annex 14.

BAB IV

HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil dan Pembahasan Penelitian

4.4.1 Prinsip Kerja *Constant Current Regulator (CCR)*

Constant Current Regulator (CCR) ialah komponen vital dalam sistem penerangan *Runway (runway lighting system)* yang berfungsi untuk mempertahankan arus listrik tetap konstan, umumnya pada level 6,6 Ampere. Hal ini diperlukan untuk menjamin bahwa intensitas cahaya dari lampu-lampu *runway* tetap stabil meskipun terjadi perubahan jumlah beban akibat kerusakan atau pemutusan sambungan lampu.

Bandar Udara Internasional Juanda Surabaya ialah salah satu CCR yang digunakan adalah tipe Siemens 6SF 402, yang dirancang berdasarkan prinsip pengendalian sudut penyalan *Silicon Controlled Rectifier (SCR)*. Sistem ini secara otomatis menyesuaikan sudut penyalan SCR berdasarkan arus beban aktual (I_s), untuk menjaga kestabilan arus sesuai dengan tingkat pencahayaan (*brightness step*) yang telah ditentukan.

Rangkaian Kerja CCR *Siemens 6SF 402*:

1. *Input Brightness Step* dan Arus Beban (I_s):

- a. Operator memilih tingkat kecerahan melalui *brightness selector*.
- b. Arus beban I_s dialirkan ke rangkaian pengontrol dan sensing system.

2. *Sensing Transformer* dan *Squaring Block*:

- a. *Sensing transformer* mendeteksi perubahan arus dan menghasilkan tegangan induksi yang proporsional terhadap I_s .
- b. Tegangan ini diubah menjadi sinyal pulsa persegi oleh *squaring block* untuk selanjutnya diproses dalam sistem pengontrol.

3. *Inverting Circuit* dan Pengaturan Sudut SCR:

- a. Sinyal yang diterima dibalik secara fasa oleh *inverting circuit* untuk menentukan sudut penyalan SCR

- b. Jika arus beban meningkat (melebihi 6,6 A), sistem akan mempercepat penyalaan SCR (mengurangi sudut), sehingga tegangan output berkurang dan arus kembali turun.
- c. Sebaliknya, bila arus turun di bawah nilai nominal, SCR akan dinyalakan dengan sudut yang lebih besar untuk menaikkan tegangan dan mengembalikan arus ke setpoint.

4. *Loop Feedback* dan Stabilisasi Arus:

- a. Sistem bekerja dalam loop tertutup yang responsif terhadap fluktuasi beban.
- b. Hal ini memastikan bahwa arus ke lampu-lampu landasan tetap dalam batas toleransi sesuai *Annex 14 ICAO*, yang mengatur bahwa intensitas pencahayaan visual harus dapat dikontrol dan dijaga konsistensinya selama operasional.

5. Relevansi terhadap Annex 14 ICAO:

Annex 14, Volume I bagian 5.3.1 dan 5.3.9 menyatakan bahwa sistem penerangan runway harus mampu beroperasi secara konsisten dan andal dalam berbagai kondisi visibilitas, dan harus mendukung operasi penerbangan aman, termasuk saat visibilitas rendah. Sistem CCR memainkan peran penting dalam memenuhi spesifikasi tersebut dengan:

- a. Menjamin kestabilan intensitas cahaya terlepas dari variasi beban atau kondisi tegangan input.
- b. Memfasilitasi transisi tingkat intensitas (*brightness steps*) sesuai kebutuhan operasional (siang, malam, atau kabut).
- c. Menghindari fluktuasi intensitas yang dapat membingungkan pilot saat melakukan pendaratan atau lepas landas.

4.1.2 Evaluasi Kinerja CCR Dalam Lingkungan Kritis

Sistem penerangan *runway* di Bandar Udara Internasional Juanda Surabaya menggunakan *Constant Current Regulator* (CCR) tipe *Siemens 6SF 402*, yang dirancang untuk menjaga arus konstan pada 6,6 *Ampere* sesuai dengan ketentuan *ICAO Annex 14*, khususnya terkait sistem penerangan *runway* (*runway lighting*) yang andal dan stabil dalam segala kondisi operasional.

Namun, efektivitas kerja CCR tidak semata-mata ditentukan oleh karakteristik internal alat, tetapi juga dipengaruhi oleh kondisi lingkungan eksternal, seperti kualitas sambungan kabel dan kelembaban tanah. Untuk itu, digunakan studi kasus lapangan dari Bandara Internasional Sultan Hasanuddin sebagai referensi evaluatif yang sebanding, karena menggunakan sistem CCR yang sama dan memiliki kondisi geografis tropis serupa.

1. Permasalahan Lingkungan dan Degradasi Sambungan Kabel

Pada Bandara Hasanuddin, kabel penerangan runway ditanam di tanah berkadar air tinggi. Dalam jangka panjang, hal ini menyebabkan:

- a. Kabel berubah warna menjadi hitam akibat oksidasi.
- b. Sambungan kabel (*male/female*) mengalami karat, meningkatkan resistansi listrik.

Pengujian menggunakan tegangan rendah 3 Volt menunjukkan arus 12 Ampere, dengan hasil pengukuran resistansi $\frac{1}{4} \Omega$ per sambungan. Merujuk pada persamaan (2.1). Dengan total 59 lampu runway dan dua sambungan per unit, total resistansi adalah:

$$R_{\text{total}} = \frac{1}{4} \Omega \times 2 \times 59 = 29,5 \Omega$$

2. Dampak terhadap Sistem *Constant Current Regulator* (CCR) dan Penerangan Runway

Meskipun CCR tetap memaksa arus berada di 6,6 Ampere, resistansi tinggi akibat korosi menimbulkan efek teknis sebagai berikut:

- a. Kenaikan Daya Listrik:

$$P = I^2 \times R = (6,6 \text{ A})^2 \times 29,5 \Omega = 1285,56 \text{ Watt}$$

Tambahan daya sebesar 1,28 kW ini akan membebani *feeding* transformer yang hanya memiliki kapasitas 6,6 kVA.

- 1) Beban normal: $59 \times 100 \text{ W} = 5900 \text{ W}$
- 2) Beban aktual: $5900 \text{ W} + 1285 \text{ W} = 7185 \text{ W}$

Overload ini dapat menyebabkan *overheating* dan kerusakan pada trafo distribusi.

- b. Kenaikan Tegangan:

$$V = I \times R = 6,6 \text{ A} \times 29,5 \Omega = 194,7 \text{ Volt}$$

Berdasarkan hasil perhitungan menggunakan persamaan 2.13 diperoleh nilai kenaikan tegangan sebesar 194,7 Volt, yang merupakan hasil perkalian antara arus konstan 6,6 Ampere dan hambatan total rangkaian sebesar 29,5 Ohm. Nilai tegangan ini menunjukkan bahwa Constant Current Regulator (CCR) menyesuaikan tegangan keluarannya untuk mempertahankan arus tetap konstan sesuai karakteristik sistem runway lighting.

Nilai tegangan sebesar 194,7 Volt masih berada dalam batas operasional yang normal dan aman, serta tidak menunjukkan adanya kondisi beban berlebih. Hal ini mengindikasikan bahwa CCR bekerja secara optimal dalam mengkompensasi rugi-rugi tegangan pada sistem distribusi daya penerangan runway, sehingga kestabilan arus tetap terjaga meskipun berada pada lingkungan operasional yang kritis

Namun demikian, kenaikan tegangan pada sisi input sensing transformer CCR tetap perlu diperhatikan, karena peningkatan tegangan yang melampaui batas desain CCR berpotensi menimbulkan gangguan atau kerusakan pada komponen internal. Tegangan tinggi ini menyebabkan tegangan input sensing transformer *Constant Current Regulator* (CCR) naik signifikan, yang sangat berisiko merusak:

- 1) Komponen kontrol *Silicon Controlled Rectifier* (SCR)
- 2) *Unit inverting circuit*
- 3) *Multisensing module* dan *squaring block*

Oleh karena itu, selama tegangan kerja sistem tidak melebihi batas maksimum yang ditentukan oleh spesifikasi teknis CCR, maka sistem penerangan runway dapat dinyatakan bekerja dalam kondisi normal, aman, dan andal.

3. Keterkaitan dengan Ketentuan ICAO Annex 14

Dalam ICAO Annex 14 Volume I, khususnya pada bagian 5.3 (Visual Aids), dinyatakan bahwa sistem penerangan harus:

- 1) Memastikan tingkat intensitas pencahayaan yang konsisten.
- 2) Tahan terhadap gangguan lingkungan dan kelistrikan.
- 3) Didukung oleh sistem kelistrikan yang stabil dan andal.

Berdasarkan kondisi di atas, dapat disimpulkan bahwa resistansi akibat korosi sambungan kabel dapat menyebabkan pelampauan ambang teknis yang ditetapkan ICAO, yaitu:

- 1) Gangguan kestabilan intensitas cahaya.
- 2) Potensi pemadaman sistem penerangan secara mendadak.
- 3) Penurunan umur pakai komponen CCR dan trafo distribusi.

4.1.3 Sistem Pengoperasian dan Pengaturannya pada *Runway Light Constant Current Regulator (CCR)* Bandar Udara Internasional Juanda Surabaya

Sistem pengoperasian dan pengaturan pada penerangan *runway* di Bandar Udara Internasional Juanda Surabaya menggunakan *Constant Current Regulator (CCR)* Siemens 6SF 402, yang terintegrasi dengan sistem pengendalian berbasis *selector switch*. Sistem ini memiliki dua mode operasi utama, yakni lokal kontrol dan remote kontrol, yang keduanya berfungsi menjaga kontinuitas penerangan sesuai dengan tuntutan ICAO Annex 14 Volume I, khususnya dalam menjamin sistem visual aids tetap bekerja pada saat kritis seperti pendaratan dan lepas landas.

1. Mode Operasi Sistem CCR

a. Lokal Kontrol

Lokal kontrol adalah mode pengoperasian yang dilakukan langsung dari panel CCR yang berada di shelter peralatan penerangan. Pada mode ini, teknisi dapat mengatur step intensitas pencahayaan secara manual melalui *selector switch* yang tertanam dalam sistem.

Penggunaan mode lokal dilakukan dalam kondisi terbatas, yaitu:

- 1) Apabila sistem remote kontrol mengalami gangguan teknis.
- 2) Saat pelaksanaan perawatan atau perbaikan sistem penerangan.
- 3) Dalam skenario pengujian atau inspeksi oleh teknisi lapangan.

b. Remote Kontrol

Remote kontrol merupakan mode utama yang digunakan dalam kondisi operasional normal. Sistem ini dikendalikan oleh petugas *Air Traffic Control (ATC)* dari menara pengawas, yang bertanggung jawab langsung terhadap pengaturan intensitas pencahayaan *runway* melalui panel remote.

Melalui remote kontrol ini, ATC dapat:

- 1) Menyesuaikan step intensitas pencahayaan runway (*step* 1 s.d. 5) sesuai dengan kondisi cuaca dan jarak pandang.
- 2) Menghidupkan atau mematikan sistem CCR dari jarak jauh.

- 3) Memastikan sinkronisasi antara kondisi visual di lapangan dengan kebutuhan pilot selama prosedur pendaratan maupun tinggal landas.

2. Koordinasi dan Kewenangan Operasional

Dalam konteks operasional, meskipun teknisi dapat melakukan kontrol lokal, wewenang penuh pengoperasian sistem CCR tetap berada di tangan petugas ATC. Hal ini karena:

- a. ATC merupakan pihak yang memiliki komunikasi langsung dengan penerbang.
- b. Pemilihan step intensitas *runway lighting* sangat krusial untuk keselamatan dan harus disesuaikan dengan instrumen visibilitas (RVR) dan kondisi aktual di lapangan.
- c. ICAO Annex 14 menekankan bahwa pengaturan pencahayaan harus mendukung *safety, efficiency, and continuity* dari prosedur penerbangan.

3. Kesesuaian dengan ICAO Annex 14

Berdasarkan Annex 14 Volume I, sistem pengendalian penerangan landasan harus:

- a. Dapat dikendalikan dari pusat pengendalian lalu lintas udara.
- b. Mempunyai fungsi cadangan lokal untuk memastikan penerangan tetap tersedia dalam kondisi darurat. Mengizinkan pengaturan tingkat intensitas secara bertahap (*multi-step control*) yang mendukung berbagai kondisi penerbangan (baik siang hari, malam hari, maupun cuaca buruk).

B. Menghitung Kapasitas Beban Terpasang pada Sistem Penerangan *Runway*

Dalam rangka evaluasi sistem penerangan *runway* di Bandar Udara Internasional Juanda Surabaya, penghitungan kapasitas beban terpasang dilakukan untuk memastikan bahwa sistem catu daya memenuhi standar ICAO Annex 14. Untuk keperluan analisis, digunakan referensi sistem dari Bandara Hasanuddin yang memiliki konfigurasi teknis serupa.

1. Spesifikasi Sistem

- a. Jumlah titik beban per rangkaian: $n = 59$
- b. Daya lampu: $P = 100$ watt
- c. Arus nominal: $I = 6,6$ A

- d. Drop tegangan isolating transformer: $V_{\text{trafo}} = 17,5 \text{ V}$
 e. Panjang kabel per titik: $l = 60 \text{ m}$
 f. Tahanan kabel jenis FLYCY: $\rho = 2,97 \Omega/\text{km}$

2. Perhitungan Beban – Metode I (Per Titik Beban)

Tahanan kabel per titik dihitung menggunakan persamaan tahanan penghantar, sebagaimana dirumuskan pada Persamaan (2.12):

$$R = \rho \times \frac{l}{1000} \dots \dots \dots (2.12)$$

dengan:

R = tahanan kabel (Ω)

l = panjang kabel (m)

ρ = tahanan jenis kabel (Ω/km)

Pembagian panjang kabel dengan angka **1000** bertujuan untuk mengonversi satuan panjang dari meter ke kilometer, karena nilai tahanan jenis kabel FLYCY dinyatakan dalam satuan Ω/km . Konversi satuan ini diperlukan agar perhitungan tahanan kabel dilakukan dengan satuan yang konsisten.

Tahanan kabel per titik :

$$R = \rho \times \frac{l}{1000} = 2,97 \times \frac{60}{1000} = 0,1782 \Omega$$

Drop tegangan kabel:

Drop tegangan akibat tahanan kabel dihitung menggunakan hukum Ohm sesuai Persamaan (2.13):

$$V_R = I \times R \dots \dots \dots (2.13)$$

$$V_R = 6,6 \times 0,1782 = 1,1761 \text{ V}$$

Drop tegangan total pada tiap titik (kombinasi resistif dan induktif):

Drop tegangan total merupakan hasil kombinasi vektor antara drop tegangan resistif kabel dan drop tegangan induktif dari isolating transformer, sesuai Persamaan (2.14)

$$V_{\text{total}} = \sqrt{V_R^2 + V_L^2} \dots \dots \dots (2.14)$$

$$V_{\text{total}} = \sqrt{(1,1761)^2 + (17,5)^2} = \sqrt{1,383 + 306,25} = \sqrt{307,633} \\ \approx 17,54 \text{ V}$$

Impedansi per titik beban:

Impedansi per titik beban dihitung berdasarkan Persamaan (2.15):

$$Z = \frac{V_{\text{total}}}{I} \dots \dots \dots (2.15)$$

$$Z = \frac{17,54}{6,6} \approx 2,657 \Omega$$

Tegangan total untuk 59 titik:

$$V_{\text{rangkaian}} = 59 \times 17,54 = 1035,0 \text{ V}$$

3. Perhitungan Beban – Metode II (Total Rangkaian)

Karena sistem menggunakan rangkaian seri, tegangan total rangkaian merupakan penjumlahan tegangan pada setiap titik beban, sesuai Persamaan (2.16):

Total drop tegangan *isolating transformer*:

$$V_{\text{trafo total}} = 59 \times 17,5 = 1032,5 \text{ V} \dots \dots \dots (2.16)$$

Panjang total kabel:

$$L = 59 \times 60 = 3540 \text{ m} = 3,54 \text{ km}$$

Tahanan total kabel:

Tahanan total kabel dihitung menggunakan persamaan tahanan penghantar sesuai Persamaan (2.11):

$$R_{\text{kabel}} = \rho \times L \dots \dots \dots (2.11)$$

$$R_{\text{kabel}} = 2,97 \times 3,54 = 10,51 \Omega$$

Drop tegangan kabel total:

Drop tegangan kabel total dihitung berdasarkan Persamaan (2.13):

$$V_{\text{kabel}} = I \times R_{\text{kabel}} \dots \dots \dots (2.13)$$

$$V_{\text{kabel}} = 6,6 \times 10,51 = 69,37 \text{ V}$$

Tegangan total rangkaian secara vektor:

Tegangan total rangkaian merupakan kombinasi vektor antara total drop tegangan isolating transformer dan drop tegangan kabel, sesuai Persamaan (2.14):

$$V_{\text{total}} = \sqrt{V_{\text{trafo total}}^2 + V_{\text{kabel}}^2} \dots \dots \dots (2.14):$$

$$V_{\text{total}} = \sqrt{(1032,5)^2 + (69,37)^2} \approx \sqrt{1066056,25 + 4812,5} = \sqrt{1070868,75} \\ \approx 1035 \text{ V}$$

Impedansi total sistem:

Impedansi total sistem dihitung menggunakan Persamaan (2.15):

$$Z_{\text{total}} = \frac{V_{\text{total}}}{I} \dots \dots \dots (2.15)$$

$$Z_{\text{total}} = \frac{1035}{6,6} \approx 156,82$$

4.1.4 Perhitungan Besar Daya untuk Setiap Step Penerangan *Runway*

Sesuai dengan standar ICAO Annex 14 Volume I, sistem penerangan *runway* wajib menyediakan beberapa tingkat pencahayaan (*brightness steps*) untuk disesuaikan dengan kondisi visibilitas aktual, baik siang, malam, maupun saat kabut. Untuk itu, CCR (*Constant Current Regulator*) harus mampu mengatur arus keluaran sesuai dengan kebutuhan penerbangan yang dikendalikan oleh petugas ATC dari menara pengawas.

Di Bandar Udara Internasional Juanda Surabaya, sistem penerangan mengacu pada konfigurasi serupa dengan Bandara Hasanuddin, yaitu menggunakan 5 tingkat pencahayaan, dengan impedansi beban keseluruhan sebesar:

$$Z = 156,8 \Omega$$

Asumsi faktor daya ($\cos \phi$) rata-rata untuk beban gabungan resistif dan induktif (lampu dan transformator) adalah:

$$\cos \phi = 0,85$$

1. Pencahayaan Tingkat 1

a. Arus:

$$I = 2,8 \text{ A}$$

b. Tegangan keluaran:

$$V = I \times Z = 2,8 \times 156,8 = 439,0 \text{ V}$$

c. Daya:

$$P = V \times I \times \cos \phi = 439,0 \times 2,8 \times 0,85 = 1.044,82 \text{ Watt}$$

2. Pencahayaan Tingkat 2

a. Arus:

$$I = 3,4 \text{ A}$$

b. Tegangan :

$$V = 3,4 \times 156,8 = 533,12 \text{ V}$$

c. Daya:

$$P = 533,12 \times 3,4 \times 0,85 = 1.540,37 \text{ Watt}$$

3. Pencahayaan Tingkat 3

a. Arus:

$$I = 4,1 \text{ A}$$

b. Tegangan:

$$V = 4,1 \times 156,8 = 642,88$$



c. Daya:

$$P = 642,88 \times 4,1 \times 0,85 = 2.240,86 \text{ Watt}$$

4. Pencahayaan Tingkat 4

a. Arus:

$$I = 5,2 \text{ A}$$

b. Tegangan:

$$V = 5,2 \times 156,8 = 815,36 \text{ V}$$

c. Daya:

$$P = 815,36 \times 5,2 \times 0,85 = 3.604,13 \text{ Watt}$$

5. Pencahayaan Tingkat 5

a. Arus:

$$I = 6,6 \text{ A}$$

b. Tegangan:

$$V = 6,6 \times 156,8 = 1.034,88 \text{ V}$$

c. Daya:

$$P = 1.034,88 \times 6,6 \times 0,85 = 5.805,79 \text{ Watt}$$

Tabel 4. 1 Daya Listrik

Tingkat	Daya (Watt)
1	1.044,82 W
2	1.540,37 W
3	2.240,86 W
4	3.604,10 W
5	5.805,80 W

Berdasarkan hasil perhitungan daya listrik pada sistem penerangan runway yang ditampilkan pada Tabel 4.1, terlihat bahwa peningkatan brightness step berbanding lurus dengan kenaikan daya listrik yang dibutuhkan oleh sistem. Pada step 1, daya yang digunakan sebesar 1.044,82 W menunjukkan kondisi pencahayaan paling rendah yang umumnya digunakan pada kondisi visibilitas sangat baik. Seiring peningkatan step, daya listrik mengalami kenaikan signifikan, hingga mencapai nilai maksimum sebesar 5.805,80 W pada step 5 yang digunakan pada kondisi malam hari atau visibilitas rendah.

Kenaikan daya ini menunjukkan bahwa sistem Constant Current Regulator (CCR) bekerja secara efektif dalam mengatur tingkat kecerahan lampu dengan mempertahankan arus konstan, sementara tegangan dan daya disesuaikan sesuai kebutuhan operasional. Pola kenaikan daya yang bertahap pada setiap step juga menandakan bahwa sistem penerangan runway dirancang untuk memberikan fleksibilitas pengoperasian sesuai kondisi cuaca dan jarak pandang, sebagaimana dipersyaratkan dalam ICAO Annex 14. Dengan demikian, hasil ini mengindikasikan bahwa pengaturan daya listrik pada sistem penerangan runway mampu mendukung keselamatan operasional pesawat secara optimal.

4.1.5 Menghitung Intensitas Cahaya dan Kuat Penerangan *Runway*

Salah satu aspek utama dalam evaluasi sistem penerangan *runway* adalah besaran intensitas cahaya (I) dan kuat penerangan (E) yang dihasilkan oleh lampu *runway*, sesuai dengan kebutuhan visibilitas pesawat pada saat tinggal landas dan mendarat. Mengacu pada ICAO Annex 14 Volume I, sistem penerangan harus mampu memberikan tingkat luminansi dan kuat penerangan yang mencukupi di seluruh lintasan runway, dalam berbagai tingkat intensitas. Dapat dilihat pada persamaan (4.2).

Pada perhitungan ini, sumber cahaya diasumsikan memancarkan cahaya secara merata ke segala arah sehingga sudut ruang yang digunakan adalah:

$$\omega = 4\pi = 12,566 \text{ sr}$$

Jarak pandang atau jarak pengamatan ditetapkan sebesar:

$$r = 2.000 \text{ m}$$

Tingkat 1

$$I = \frac{579,6}{12,566} \approx 46,1 \text{ cd}$$

$$E = \frac{46,1}{(2000)^2} = \frac{46,1}{4 \times 10^6} = 11,53 \times 10^{-5} \text{ lux}$$

Tingkat 2

$$I = \frac{717,6}{12,566} \approx 57,1 \text{ cd}$$

$$E = \frac{57,1}{4 \times 10^6} = 14,28 \times 10^{-5} \text{ lux}$$

Tingkat 3

$$I = \frac{855,6}{12,566} \approx 68,1 \text{ cd}$$

$$E = \frac{68,1}{4 \times 10^6} = 17,03 \times 10^{-5} \text{ lux}$$

Tingkat 4

$$I = \frac{1090,2}{12,566} \approx 86,7 \text{ cd}$$

$$E = \frac{86,7}{4 \times 10^6} = 21,68 \times 10^{-5} \text{ lux}$$

Tingkat 5

$$I = \frac{1380}{12,566} \approx 109,8 \text{ cd}$$

$$E = \frac{109,8}{4 \times 10^6} = 27,45 \times 10^{-5} \text{ lux}$$

Tabel 4. 2 Fluks cahaya (Φ) tiap step

Tingkat	Fluks Cahaya (Φ)
5	1380 lumen
4	1090,2 lumen
3	855,6 lumen
2	717,6 lumen
1	579,6 lumen

Berdasarkan Tabel 4.2, fluks cahaya (Φ) pada sistem penerangan runway menunjukkan peningkatan seiring dengan kenaikan brightness step. Pada step 1, fluks cahaya sebesar 579,6 lumen merepresentasikan tingkat pencahayaan terendah, sedangkan pada step 5 fluks cahaya mencapai nilai maksimum sebesar 1380 lumen. Peningkatan fluks cahaya yang bersifat bertahap ini menunjukkan bahwa sistem

penerangan runway mampu menghasilkan distribusi cahaya yang proporsional terhadap pengaturan intensitas yang diberikan.

Nilai fluks cahaya pada setiap step selanjutnya digunakan sebagai dasar perhitungan intensitas cahaya (I) dengan mengacu pada Persamaan (2.1), yaitu hubungan antara fluks cahaya dan sudut ruang. Dengan demikian, variasi fluks cahaya pada setiap step secara langsung memengaruhi besarnya intensitas cahaya yang dihasilkan oleh sistem penerangan runway.

Kesesuaian antara kenaikan fluks cahaya dan peningkatan step menegaskan bahwa sistem Constant Current Regulator (CCR) berfungsi dengan baik dalam mengontrol intensitas cahaya tanpa mengganggu kestabilan arus. Hal ini penting untuk memastikan visibilitas runway tetap optimal sesuai kondisi operasional, baik pada siang hari, malam hari, maupun saat jarak pandang terbatas, sebagaimana dipersyaratkan dalam ICAO Annex 14.

Tabel 4. 3 Intensitas cahaya (I) dan kuat penerangan (E) pada sistem runway light

Step	Intensitas Cahaya (I)	Kuat Penerangan (E)
1	46,0 cd	$11,5 \times 10^{-5}$ lux
2	57,0 cd	$14,3 \times 10^{-5}$ lux
3	67,9 cd	$17,0 \times 10^{-5}$ lux
4	86,5 cd	$21,6 \times 10^{-5}$ lux
5	109,5 cd	$27,4 \times 10^{-5}$ lux

Berdasarkan Tabel 4.3, intensitas cahaya (I) yang diperoleh pada setiap brightness step merupakan hasil perhitungan menggunakan Persamaan (2.1), yaitu intensitas cahaya sebagai fungsi dari fluks cahaya yang dipancarkan oleh sumber penerangan. Selanjutnya, nilai intensitas cahaya tersebut digunakan untuk menentukan kuat penerangan (E) dengan mengacu pada hubungan teoritis antara intensitas cahaya dan jarak pengamatan.

Pada step 1, intensitas cahaya sebesar 46,0 cd menghasilkan kuat penerangan sebesar $11,5 \times 10^{-5}$ lux, sedangkan pada step 5 intensitas cahaya meningkat hingga 109,5 cd dengan kuat penerangan sebesar $27,4 \times 10^{-5}$ lux. Hubungan ini menunjukkan bahwa peningkatan intensitas cahaya yang dihitung berdasarkan Persamaan (2.1) secara langsung berdampak pada bertambahnya tingkat penerangan yang diterima pada area runway.

Pola kenaikan yang konsisten pada setiap step menandakan bahwa sistem penerangan runway mampu memberikan pencahayaan yang terkontrol dan proporsional sesuai kebutuhan operasional. Hal ini menunjukkan bahwa sistem pengaturan intensitas, khususnya Constant Current Regulator (CCR), bekerja secara optimal dalam menyesuaikan tingkat terang lampu tanpa mengurangi stabilitas sistem. Dengan demikian, nilai intensitas cahaya dan kuat penerangan yang dihasilkan telah mendukung visibilitas runway sesuai ketentuan ICAO Annex 14.

1. Perhitungan Intensitas Cahaya dan Kuat Penerangan

Perhitungan intensitas cahaya pada sistem penerangan runway dilakukan berdasarkan Persamaan (2.1) dengan menggunakan data fluks cahaya pada masing-masing step. Adapun data sistem penerangan runway adalah sebagai berikut:

A. Data Sistem Penerangan Runway:

- Jenis lampu : Lampu pijar 100 watt
- Jumlah lampu : 82 buah
- Panjang runway: 2.500 m, lebar: 45 m
- Jarak antar lampu : 60 meter
- Jarak lampu ke sisi runway : 3 meter
- Jarak lampu ke *centre line* : 22,5 m + 3 m = 25,5 m
- Jarak pandang (jarak pengamatan): r = 2.000 m
- Fluks cahaya (Φ) tiap step:

Hasil perhitungan step 5-1 :

Step 5:

$$I = \frac{1380}{4\pi} = \frac{1380}{12,566} \approx 109,8 \text{ cd } E = \frac{109,8}{(2000)^2} = \frac{109,8}{4 \times 10^6} = 27,45 \times 10^{-5} \text{ lux}$$

Tabel 4. 4 Rekapitulasi Intensitas Cahaya dan Kuat Penerangan per Step Runway

No	Step	Intensitas Cahaya I (cd)	Kuat Penerangan E (lux)
1	5	109,8	$27,4 \times 10^{-5}$
2	4	86,8	$21,7 \times 10^{-5}$
3	3	68,1	$17,0 \times 10^{-5}$
4	2	57,1	$14,3 \times 10^{-5}$
5	1	46,1	$11,5 \times 10^{-5}$

Berdasarkan rekapitulasi pada Tabel 4.4, terlihat bahwa intensitas cahaya (I) dan kuat penerangan (E) pada sistem runway mengalami penurunan yang sebanding seiring dengan penurunan brightness step. Seluruh nilai intensitas cahaya diperoleh dari hasil perhitungan menggunakan Persamaan (2.1), sedangkan kuat penerangan dihitung berdasarkan hubungan teoritis antara intensitas cahaya dan jarak pengamatan.

Konsistensi nilai intensitas cahaya dan kuat penerangan pada setiap step menunjukkan bahwa sistem pengendalian penerangan runway bekerja secara stabil dan terukur. Rekapitulasi ini memperkuat hasil analisis bahwa sistem Constant Current Regulator (CCR) mampu mengatur tingkat kecerahan lampu secara efektif sesuai kebutuhan operasional, sehingga mendukung visibilitas runway dan keselamatan operasi penerbangan sesuai standar ICAO Annex 14.

4.1.6 Sistem Rangkaian Penerangan *Runway*

Dalam sistem penerangan *runway* di Bandar Udara Internasional Juanda Surabaya, pemilihan sistem rangkaian sangat menentukan stabilitas dan keandalan kuat penerangan. Secara umum, terdapat dua jenis sistem pemasangan yang digunakan dalam instalasi kelistrikan penerangan bandara, yaitu:

1. Sistem Paralel

Pada sistem paralel, setiap lampu disuplai oleh tegangan yang sama. Jika satu lampu mengalami kerusakan, lampu lainnya tetap dapat menyala. Namun, sistem ini kurang optimal untuk instalasi panjang seperti *runway* karena perbedaan intensitas cahaya dapat terjadi akibat drop tegangan sepanjang kabel distribusi.

b. Sistem Seri

Sistem ini umum digunakan di bandara, termasuk di Bandar Udara Juanda dan Hasanuddin, karena memiliki keunggulan Intensitas cahaya di semua titik lampu seragam. Kontrol arus lebih stabil, sesuai dengan sistem CCR (*Constant Current Regulator*). Kelemahan utamanya adalah jika satu lampu terputus, seluruh rangkaian akan terputus. Untuk mengatasi hal ini, digunakan isolating transformer pada setiap titik lampu, yang berfungsi menjaga kontinuitas arus meskipun terjadi kerusakan pada salah satu lampu.

Sistem seri dengan isolating transformer juga merupakan rekomendasi dari ICAO Annex 14, terutama untuk *runway* dengan panjang lebih dari 1.200 meter, untuk memastikan distribusi cahaya yang homogen dan aman bagi penerbangan.

4.1.7 Perhitungan Kapasitas Pengaman (*Fuse*)

Sesuai dengan standar keselamatan penerangan bandar udara dan ketentuan ICAO Annex 14, sistem penerangan *runway* harus dilindungi oleh pengaman arus lebih, salah satunya adalah pengaman lebur (*fuse*). *Fuse* digunakan untuk mencegah kerusakan pada peralatan akibat kelebihan arus (*overcurrent*) dan hubung singkat.

1. Perhitungan *Fuse* Utama (*Runway 1*)

Daya total : $P = 146,9 \text{ kW}$

Tegangan sistem : $V = 380 \text{ Volt}$

Faktor daya : $\cos\phi = 0,85$

Arus beban (IL) dihitung berdasarkan hubungan daya tiga fasa, sebagaimana dirumuskan dalam Persamaan (2.8):

$$I_L = \frac{P}{\sqrt{3} \times V \times \cos\phi} \quad I_L = \frac{146,9 \times 1000}{\sqrt{3} \times 380 \times 0,85} = \frac{146900}{558,49} \approx 267,5 \text{ A}$$

Pengaman yang dipilih: 300 Ampere

Berdasarkan hasil perhitungan tersebut, maka kapasitas pengaman yang dipilih untuk *Fuse* Utama *Runway 1* adalah 300 Ampere, yaitu sedikit di atas arus beban nominal untuk memberikan margin keamanan.

2. Perhitungan *Fuse* Panel Cabang (*Runway 2*)

Daya total : $S = 20 \text{ kVA}$

Asumsi $1 \text{ kVA} \approx 0,8 \text{ kW} \rightarrow P = 16 \text{ kW}$

Tegangan sistem : $V = 380 \text{ Volt}$

Faktor daya : $\cos\phi = 0,85$

Arus beban dihitung menggunakan Persamaan (2.8) sebagai berikut:

$$I_L = \frac{P}{\sqrt{3} \times V \times \cos\phi} = \frac{16000}{\sqrt{3} \times 380 \times 0,85} = \frac{16000}{558,49} \approx 31,0 \text{ A}$$

Berdasarkan hasil tersebut, maka *fuse* yang dipilih untuk panel cabang *Runway 2* adalah 32 Ampere.

Tabel 4. 5 Perhitungan Kapasitas Pengaman Lebur (*Fuse*) *Runway Light*

No	Pelampuan	Daya (kW)	Kapasitas Pengaman (A)	<i>Fuse</i> yang Dipilih (A)
1	<i>Runway 1</i>	146,9	267,5	300
2	<i>Runway 2</i>	16,0	31,0	32

Berdasarkan Tabel 4.5, hasil perhitungan kapasitas pengaman lebur (*fuse*) menunjukkan bahwa kebutuhan arus pengaman berbeda sesuai dengan besarnya daya terpasang pada masing-masing jalur pelampuan. Pemilihan *fuse* dengan kapasitas sedikit lebih besar dari arus beban hasil perhitungan berdasarkan Persamaan (2.8) bertujuan untuk mencegah pemutusan rangkaian akibat fluktuasi arus sesaat, tanpa mengurangi fungsi proteksi sistem. Dengan demikian, sistem proteksi listrik pada *runway light* telah dirancang secara aman dan andal.

3. Perhitungan Rapat Arus dan Kapasitas Hantar Arus (KHA)

Dalam sistem penerangan *runway* di Bandar Udara Internasional Juanda Surabaya, pemilihan jenis dan ukuran kabel harus mempertimbangkan arus beban nominal, durasi kerja kontinu, serta standar keamanan kelistrikan. Hal ini penting untuk memastikan kabel tidak mengalami pemanasan berlebih, yang dapat menyebabkan kerusakan isolasi dan menurunkan keandalan penerangan *runway*, sebagaimana diatur dalam ICAO Annex 14 Volume I, khususnya terkait sistem kelistrikan penerangan lapangan udara.

4. Rapat Arus (Current Density)

Rapat arus adalah nilai arus listrik per satuan luas penampang penghantar. Nilai ini digunakan untuk menilai apakah suatu kabel bekerja dalam batas termal yang aman.

Ukuran kabel yang digunakan : $A = 6 \text{ mm}^2$

Arus nominal sistem : $I = 6,6 \text{ A}$

Rapat arus merupakan perbandingan antara arus listrik yang mengalir dengan luas penampang penghantar. Perhitungan rapat arus dilakukan berdasarkan Persamaan (2.9).

$$\text{Rapat arus (J)} = \frac{I}{A} = \frac{6,6}{6} = 1,1 \text{ A/mm}^2$$

Nilai ini jauh di bawah batas maksimum standar, yaitu:

$$J_{\text{maks}} = 20 \text{ A/mm}^2$$

Interpretasi:

Rapat arus sebesar $1,1 \text{ A/mm}^2$ menandakan bahwa penghantar bekerja jauh di bawah kapasitas termal maksimumnya, sehingga sangat aman untuk penggunaan secara kontinu pada sistem penerangan *runway*.

5. Kapasitas Hantar Arus (KHA)

KHA adalah nilai arus maksimum yang dapat dialirkan oleh kabel tanpa menyebabkan peningkatan suhu melebihi ambang batas yang ditentukan oleh standar teknis.

Kapasitas Hantar Arus (KHA) adalah arus maksimum yang dapat dialirkan oleh kabel tanpa menyebabkan peningkatan suhu melebihi ambang batas yang diizinkan. KHA dihitung berdasarkan Persamaan (2.10) sebagai berikut:

$$KHA = 1,15 \times I_{\text{nominal}} \quad KHA = 1,15 \times 6,6 = 7,59 \text{ Ampere}$$

Menurut PUIL 2000 pasal 710-5A, KHA untuk kabel tembaga berpenampang 6 mm^2 adalah:

$$KHA_{\text{PUIL}} = 74 \text{ Ampere}$$

Interpretasi: Perhitungan menunjukkan bahwa arus nominal $6,6 \text{ A}$ yang dialirkan oleh sistem penerangan *runway* hanya menggunakan $\pm 10\%$ dari kapasitas maksimum kabel berdasarkan PUIL, sehingga dari sisi keamanan termal, sistem kabel sangat aman dan tidak mendekati batas kerja.

4.1.8 Perbandingan Hasil Perhitungan dengan Standar ICAO Annex 14

International Civil Aviation Organization (ICAO) melalui Annex 14 Volume I menetapkan persyaratan teknis terkait sistem penerangan *runway* yang bertujuan untuk menjamin keselamatan operasi penerbangan, khususnya pada kondisi malam hari dan visibilitas rendah. Salah satu parameter utama yang diatur dalam Annex 14 adalah intensitas cahaya lampu *runway*, yang dinyatakan dalam satuan candela (cd) dan diatur berdasarkan kategori *runway* serta tingkat kecerahan (brightness step).

Berdasarkan ICAO Annex 14 untuk *runway* kategori instrument, standar intensitas cahaya lampu *runway* edge lighting pada kondisi cuaca cerah berada pada

kisaran minimal ± 25 cd hingga lebih dari 100 cd, tergantung pada tipe lampu dan brightness step yang digunakan. Sistem runway lighting juga diwajibkan memiliki beberapa tingkat kecerahan (multi-step brightness) agar dapat disesuaikan dengan kondisi operasional dan jarak pandang pilot.

Tabel 4. 6 Perbandingan Standar ICAO Annex 14 dengan Hasil Perhitungan Intensitas

No	Brightness Step	Standar ICAO Annex 14* (cd)	Hasil Perhitungan (cd)	Kesesuaian
1	Step 1	≥ 25 cd	46,1 cd	Memenuhi
2	Step 2	≥ 40 cd	57,1 cd	Memenuhi
3	Step 3	≥ 60 cd	68,1 cd	Memenuhi
4	Step 4	≥ 80 cd	86,8 cd	Memenuhi
5	Step 5	≥ 100 cd	109,8 cd	Memenuhi

Hasil perhitungan intensitas cahaya pada penelitian ini, sebagaimana ditunjukkan pada Tabel 4.6, memperlihatkan bahwa nilai intensitas cahaya yang dihasilkan oleh sistem penerangan runway di Bandar Udara Internasional Juanda Surabaya berada pada rentang 46,1 cd hingga 109,8 cd. Nilai terendah diperoleh pada brightness step 1 sebesar 46,1 cd, sedangkan nilai tertinggi diperoleh pada brightness step 5 sebesar 109,8 cd.

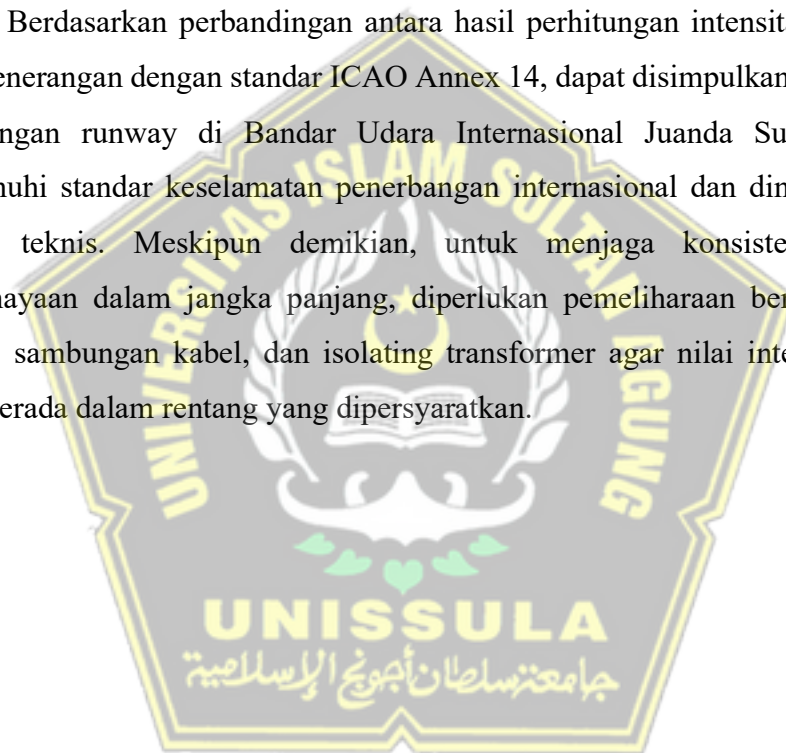
Apabila dibandingkan dengan standar ICAO Annex 14, nilai intensitas cahaya minimum hasil perhitungan (46,1 cd) masih berada di atas batas minimum intensitas cahaya yang dipersyaratkan untuk runway instrument [16]. Hal ini menunjukkan bahwa bahkan pada tingkat kecerahan terendah, sistem penerangan runway masih mampu memberikan panduan visual yang memadai bagi pilot. Sementara itu, nilai intensitas maksimum sebesar 109,8 cd telah memenuhi bahkan mendekati batas atas rentang intensitas yang direkomendasikan ICAO untuk kondisi operasi dengan kebutuhan visibilitas tinggi .

Selain intensitas cahaya, kuat penerangan (illuminance) yang diterima pada jarak pengamatan 2.000 meter juga menunjukkan hasil yang konsisten. Nilai kuat penerangan berada pada rentang $11,5 \times 10^{-5}$ lux hingga $27,4 \times 10^{-5}$ lux, yang meningkat secara proporsional seiring dengan kenaikan brightness step. Pola peningkatan ini menandakan bahwa Constant Current Regulator (CCR) bekerja

secara optimal dalam menjaga kestabilan arus sebesar 6,6 Ampere, sehingga perubahan tingkat kecerahan tidak menimbulkan fluktuasi yang tidak terkendali pada sistem penerangan.

Dari sisi kelistrikan, evaluasi terhadap sistem proteksi dan penghantar listrik menunjukkan bahwa arus kerja sistem berada jauh di bawah kapasitas maksimum yang diizinkan berdasarkan standar PUIL maupun rekomendasi ICAO Annex 14. Kondisi ini memperkuat bahwa sistem tidak hanya memenuhi aspek visual, tetapi juga aman dari sisi keandalan dan keselamatan instalasi listrik.

Berdasarkan perbandingan antara hasil perhitungan intensitas cahaya dan kuat penerangan dengan standar ICAO Annex 14, dapat disimpulkan bahwa sistem penerangan runway di Bandar Udara Internasional Juanda Surabaya masih memenuhi standar keselamatan penerbangan internasional dan dinyatakan layak secara teknis. Meskipun demikian, untuk menjaga konsistensi performa pencahayaan dalam jangka panjang, diperlukan pemeliharaan berkala terhadap lampu, sambungan kabel, dan isolating transformer agar nilai intensitas cahaya tetap berada dalam rentang yang dipersyaratkan.



BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian, perhitungan teknis, serta evaluasi sistem penerangan runway di Bandar Udara Internasional Juanda Surabaya dengan mengacu pada standar International Civil Aviation Organization (ICAO) Annex 14, maka dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut:

1. Hasil perhitungan intensitas cahaya sistem penerangan runway menunjukkan bahwa nilai intensitas cahaya yang dihasilkan berada pada rentang 46,1 cd hingga 109,8 cd untuk seluruh tingkat kecerahan (brightness step). Nilai intensitas terendah diperoleh pada brightness step 1, sedangkan nilai tertinggi diperoleh pada brightness step 5. Rentang nilai tersebut menunjukkan bahwa sistem penerangan runway mampu menghasilkan variasi intensitas cahaya yang sesuai dengan kebutuhan operasional penerbangan pada berbagai kondisi visibilitas.
2. Berdasarkan perbandingan antara hasil perhitungan intensitas cahaya dengan standar ICAO Annex 14 untuk runway kategori instrument, seluruh nilai intensitas cahaya yang diperoleh berada di atas batas minimum yang dipersyaratkan. Intensitas minimum sebesar 46,1 cd telah melampaui standar minimum ICAO, sementara intensitas maksimum sebesar 109,8 cd masih berada dalam rentang intensitas yang direkomendasikan. Dengan demikian, sistem penerangan runway dinyatakan memenuhi standar ICAO Annex 14 dari aspek intensitas cahaya.
3. Sistem pengaturan arus menggunakan Constant Current Regulator (CCR) dengan arus konstan sebesar 6,6 Ampere terbukti mampu menjaga kestabilan arus pada seluruh rangkaian penerangan runway. Perubahan tingkat brightness step menghasilkan peningkatan intensitas cahaya yang berlangsung secara bertahap dan proporsional tanpa fluktuasi yang signifikan. Hal ini menunjukkan bahwa sistem pengaturan arus dan tingkat

kecerahan bekerja secara efektif dan sesuai dengan prinsip desain sistem runway lighting.

4. Nilai kuat penerangan (illuminance) yang dihasilkan pada jarak pengamatan 2.000 meter berada pada rentang $11,5 \times 10^{-5}$ lux hingga $27,4 \times 10^{-5}$ lux. Nilai tersebut meningkat seiring dengan kenaikan brightness step, yang menunjukkan bahwa intensitas cahaya berbanding lurus dengan tingkat penerangan yang diterima. Kondisi ini mendukung visibilitas runway yang memadai bagi pilot, khususnya pada fase pendaratan dan lepas landas pesawat.
5. Ditinjau dari aspek kelistrikan, hasil evaluasi menunjukkan bahwa arus kerja sistem penerangan runway berada di bawah kapasitas maksimum penghantar dan sistem proteksi yang digunakan. Hal ini menandakan bahwa sistem bekerja dalam batas aman secara elektrik dan termal, sehingga risiko gangguan akibat kelebihan arus atau pemanasan berlebih dapat diminimalkan.
6. Berdasarkan keseluruhan hasil analisis dan perbandingan dengan standar ICAO Annex 14, dapat disimpulkan bahwa sistem penerangan runway di Bandar Udara Internasional Juanda Surabaya layak secara teknis dan memenuhi persyaratan keselamatan penerbangan internasional. Meskipun demikian, untuk menjaga kinerja sistem dalam jangka panjang, diperlukan pemeliharaan dan inspeksi berkala agar nilai intensitas cahaya tetap berada dalam batas standar yang dipersyaratkan.

5.2 Saran

Menurut hasil evaluasi, terdapat beberapa saran yang dapat diajukan untuk meningkatkan keandalan dan keselamatan sistem penerangan runway di Bandar Udara Internasional Juanda Surabaya, antara lain:

1. Penelitian dapat dikembangkan dengan memperluas titik pengukuran intensitas penerangan, khususnya pada setiap segmen runway seperti threshold, touchdown zone, centerline, dan edge lighting untuk memperoleh distribusi cahaya yang lebih detail dan komprehensif.

1. Penelitian selanjutnya dapat menggunakan perangkat lunak simulasi pencahayaan seperti DIALux atau Agi32 untuk memvalidasi hasil perhitungan lapangan dan memvisualisasikan pola sebar cahaya secara lebih akurat.
2. Penelitian selanjutnya dapat memadukan data teknis pencahayaan dengan data meteorologi penerbangan, seperti Runway Visual Range (RVR), untuk mengevaluasi hubungan antara performa pencahayaan dan tingkat visibilitas aktual di lapangan.
3. Penelitian disarankan untuk melakukan validasi lapangan secara berkala pada periode waktu yang berbeda untuk melihat konsistensi performa penerangan dan menilai pengaruh faktor lingkungan terhadap sistem secara jangka panjang.



DAFTAR PUSTAKA

- [1] ANDIK EKA DESMINA RAHARJO, “ANALISIS SISTEM KELISTRIKAN RUNWAY LIGHTING,” Universitas Muhammadiyah Makassar, Makassar, 2018. Diakses: 20 November 2025. [Daring]. Tersedia pada: https://digilibadmin.unismuh.ac.id/upload/1798-Full_Text.pdf
- [2] A. FIRMASNYAH, “Analisis Sistem Kelistrikan dan Pencahayaan Runway Lighting di Bandar Udara Budiarto Curug Kabupaten Tangerang,” *Jurnal Online Mahasiswa (JOM) Bidang Teknik Elektro*, vol. 1, no. 1, 2024.
- [3] F. Simaremare, R. R. Bunahri, D. N. C. Arta, dan M. Kona, “Analisa Penambahan Jalur Circuit D pada Taxiway di Bandar Udara Internasional I Gusti Ngurah Rai - Bali,” *SKY EAST: Education of Aviation Science and Technology*, vol. 1, no. 2, hlm. 122–131, Des 2023, doi: 10.61510/skyeast.v1i2.16.
- [4] M. Mulyati, S. Syafriwel, dan M. F. Siregar, “Analisa Konsumsi Daya Lampu Halogen dan LED di Bandar Udara Halim Perdanakusuma,” *AL-DYAS*, vol. 3, no. 1, hlm. 480–487, 2024.
- [5] Icao, “Aerodromes Annex 14 to the Convention on International Civil Aviation International Civil Aviation Organization International Standards and Recommended Practices Fourth Edition Volume I Aerodrome Design and Operations,” 2004. [Daring]. Tersedia pada: <http://www.icao.int>
- [6] P. di B. S. T. Jambi dan R. Lights, “Kinerja CCR Terhadap Kuat Penerangan Lampu Landasan Pacu”.
- [7] R. A. Yani, E. H. Julianda, D. E. Putra, C. Rizal, dan S. Subianto, “CCR PERFORMANCE AGAINST ILLUMINATION OF AIRCRAFT RUNWAY LIGHTS AT SULTAN THAHA AIRPORT JAMBI,” *Jurnal Ampere*, vol. 7, no. 2, hlm. 116–122, 2022.
- [8] A. H. D. Utami, “Analisis Pengembangan Runway Dan Fasilitas Alat Bantu Pendaratan Di Bandar Udara Depati Amir Bangka,” *Skripsi. Jurusan Teknik Penerbangan Sekolah Tinggi Teknologi Adisutjipto Yogyakarta*, 2012.
- [9] “Pilot briefing-Runway markings and lights on Avinor aerodromes.”
- [10] R. B. H. Revin dan W. N. Astuti, “Rancang Bangun Virtual AFL Sebagai Media Pembelajaran Jarak Jauh di Sekolah Vokasi Perhubungan Rancang Bangun Virtual AFL Sebagai Media Pembelajaran Jarak Jauh di Sekolah

Vokasi Perhubungan,” *SKYHAWK: Jurnal Aviasi Indonesia*, vol. 2, no. 2, hlm. 158–167, 2022.

[11]

[12] E. D. Agustini, “Kebutuhan Approach Light System pada Kedua Ambang Landasan Bandara Sultan Hasanuddin-Makassar untuk Meningkatkan Kapasitas Pergerakan Pesawat Udara,” *Warta Ardhia*, vol. 38, no. 2, hlm. 168–179, 2012.

[13] R. I. Sudjoko, Hartono, S. Hariyadi, dan Suwito, “Design and Simulation of Airfield Lighting System Using 8 Luminaire in Airfield Lighting Laboratory at Politeknik Penerbangan Surabaya,” dalam *Journal of Physics: Conference Series*, IOP Publishing Ltd, Mar 2021. doi: 10.1088/1742-6596/1845/1/012034.

[14] J. E. . Burns, Chuck. Dennie, Shady. Elshetwy, Doron. Lean, dan Joe. Vigilante, *LED airfield lighting system operation and maintenance*. Washington, D.C: Transportation Research Board, 2015.

[15] Council (Dewan) ICAO, “Aerodromes Annex 14 to the Convention on International Civil Aviation International Civil Aviation Organization International Standards and Recommended Practices Fourth Edition Volume I Aerodrome Design and Operations,” Montréal, Quebec, Kanada., Jul 2004. [Daring]. Tersedia pada: <http://www.icao.int>

[16] K. Podbucki, T. Marciniak, dan J. Suder, “Laboratory Assessment of In-Pavement Airport Lamp’s Luminous Intensity Distribution,” *Applied Sciences 2023, Vol. 13*, vol. 13, no. 24, Des 2023, doi: 10.3390/APP132413242.