

ANALISIS KERUSAKAN UNTUK PENYUSUNAN REKOMENDASI PEMELIHARAAN SISTEM TAXIWAY EDGE LIGHT DI BANDARA PANGSUMA

Aldha Martha Putri¹, Zulina Kurniawati², Fahroji³

^{1,2,3}Program Studi Teknik Listrik Bandara, Politeknik Penerbangan Indonesia Curug
e-mail: aldaputri139@gmail.com

Abstrak

Bandar udara memiliki peran penting dalam mendukung keselamatan operasional penerbangan, khususnya pada pergerakan pesawat di sisi udara. Salah satu fasilitas keselamatan tersebut adalah sistem taxiway edge light yang berfungsi sebagai panduan visual bagi pilot saat pesawat melakukan taxiing. Di Bandara Pangsuma Putussibau, sistem taxiway edge light saat ini tidak berfungsi, ditandai dengan lampu taxiway yang tidak menyala serta Constant Current Regulator (CCR) yang tidak beroperasi, sehingga berpotensi mengganggu keselamatan dan efisiensi pergerakan pesawat, terutama pada kondisi cuaca dengan visibilitas rendah. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis penyebab ketidakfungsian sistem taxiway edge light sebagai dasar penyusunan rekomendasi pemeliharaan lanjutan guna mendukung keselamatan operasional penerbangan. Metode penelitian yang digunakan adalah metode kuantitatif melalui pengukuran dan pengumpulan data teknis sistem taxiway edge light yang kemudian dibandingkan dengan standar dan ketentuan yang berlaku menggunakan pendekatan Root Cause Analysis (RCA). Hasil analisis menunjukkan bahwa faktor peralatan (machine) dan material menjadi penyebab utama ketidakfungsian sistem, ditandai dengan kondisi CCR dan lampu taxiway yang tidak beroperasi serta penurunan kualitas isolasi pada kabel dan konektor. Berdasarkan hasil tersebut, disimpulkan bahwa diperlukan evaluasi teknis serta penyusunan rekomendasi pemeliharaan lanjutan agar sistem penerangan tepi sisi taxiway dapat beroperasi secara andal dan mendukung keselamatan operasional penerbangan di Bandara Pangsuma Putussibau.

Kata kunci: Sistem Taxiway Edge light, Root Cause Analysis (RCA), Fishbone diagram, Keselamatan Penerbangan

Abstract

Airports play an essential role in supporting aviation operational safety, particularly in aircraft ground movements within the airside area. One of the safety facilities supporting these operations is the taxiway edge light system, which provides visual guidance for pilots during taxiing. At Pangsuma Putussibau Airport, the taxiway edge light system is currently not operational, as indicated by taxiway lights that do not illuminate and a non-functioning Constant Current Regulator (CCR). This condition has the potential to disrupt safety and efficiency in aircraft ground movements, especially under weather conditions with low visibility. This study aims to analyze the causes of the malfunction of the taxiway edge light system as a basis for formulating further maintenance recommendations to support aviation operational safety. The research method employed is a quantitative approach, conducted through measurement and collection of technical data of the taxiway edge light system, which are then compared with applicable standards and regulations using a Root Cause Analysis (RCA) approach. The results indicate that equipment (machine) and material factors are the primary causes of the system malfunction, characterized by inoperative CCR units and taxiway lights, as well as degradation of insulation quality in cables and connectors. Based on these findings, it is concluded that technical evaluation and the development of further maintenance recommendations are required to ensure that the taxiway edge lighting system can operate reliably and support aviation operational safety at Pangsuma Putussibau Airport.

Keywords: Taxiway Edge light System, Root Cause Analysis, Fishbone diagram, Flight Safety

PENDAHULUAN

Bandar udara memiliki peran penting dalam sistem transportasi udara, baik pada tingkat nasional maupun internasional, terutama dalam mempercepat mobilitas manusia dan distribusi barang antarwilayah. Dalam operasionalnya, kegiatan di bandar udara tidak hanya mencakup pergerakan pesawat pada landasan pacu (runway) dan jalur penghubung (taxiway), tetapi juga meliputi penyediaan layanan bagi penumpang dan kargo serta pengoperasian berbagai sistem pendukung

seperti navigasi udara, komunikasi penerbangan, sistem penerangan, dan sistem keselamatan. Keandalan setiap komponen tersebut menjadi faktor utama dalam menjamin keselamatan dan kelancaran operasional penerbangan.

Salah satu fasilitas penting pada sisi udara adalah taxiway yang berfungsi sebagai jalur penghubung antara runway dan apron agar pergerakan pesawat di darat dapat berlangsung secara aman dan efisien. Untuk menunjang aspek keselamatan tersebut, diperlukan sistem penerangan yang memadai, terutama pada kondisi jarak pandang terbatas. Berdasarkan ketentuan ICAO Annex 14 Volume I serta Peraturan Direktur Jenderal Perhubungan Udara Nomor PR 21 Tahun 2023, sistem penerangan tepi sisi atau taxiway edge light merupakan fasilitas mandatory yang wajib tersedia pada setiap taxiway yang beroperasi pada malam hari maupun dalam kondisi visibilitas rendah. Sistem ini berfungsi memberikan panduan visual bagi pilot saat melakukan proses taxiing sehingga keberadaannya menjadi salah satu elemen keselamatan yang tidak dapat diabaikan.

Bandara Pangsuma Putussibau memiliki satu runway yang terhubung dengan area apron melalui satu jalur taxiway utama. Berdasarkan hasil pengamatan di lapangan, sistem taxiway edge light di bandara tersebut saat ini tidak berfungsi, yang ditandai dengan lampu taxiway yang tidak menyala serta Constant Current Regulator (CCR) yang tidak dapat beroperasi. Selain itu, ditemukan indikasi penurunan tahanan isolasi pada jaringan kabel seri dan konektor yang berpotensi memengaruhi keandalan sistem penerangan taxiway. Kondisi tersebut diperkuat oleh hasil pemeriksaan teknis yang dilakukan oleh Balai Teknik Penerbangan (BTP) sebagaimana tertuang dalam Berita Acara Pelaksanaan Kegiatan Perbaikan Suku Cadang Listrik AFL Bandar Udara Pangsuma Putussibau. Dalam dokumen tersebut dinyatakan bahwa sistem penerangan taxiway tidak dapat beroperasi secara normal akibat gangguan pada jaringan kabel seri dan peralatan pendukungnya, sehingga direkomendasikan untuk dilakukan reinstalasi jaringan kabel seri serta tindakan perbaikan lanjutan guna mengembalikan fungsi sistem penerangan taxiway sesuai ketentuan teknis yang berlaku.

Secara operasional, Bandara Pangsuma Putussibau beroperasi setiap hari pada pukul 07.00–14.00 WIB. Meskipun kegiatan operasional belum berlangsung pada malam hari, wilayah Putussibau sering mengalami kondisi cuaca mendung atau hujan ringan pada siang hari yang menyebabkan penurunan intensitas pencahayaan alami di area sisi udara. Kondisi tersebut menunjukkan bahwa keberadaan sistem penerangan taxiway tetap diperlukan sebagai panduan visual tambahan bagi pergerakan pesawat di darat. Oleh karena itu, keandalan sistem taxiway edge light tetap menjadi aspek penting dalam menjamin keselamatan dan efisiensi operasional bandar udara.

Beberapa penelitian sebelumnya telah membahas berbagai aspek yang berkaitan dengan sistem penerangan bandar udara. Situmeang et al. (2024) menganalisis sistem Constant Current Regulator (CCR) pada penerangan bandara untuk memastikan kestabilan arus dan kapasitas beban. Hasil penelitian menunjukkan bahwa CCR mampu menjaga arus nominal sebesar 6,6 A pada berbagai kondisi beban, namun diperlukan pemeliharaan rutin untuk mencegah gangguan tegangan dan fluktuasi arus yang dapat mempengaruhi kinerja sistem penerangan. Penelitian lain yang dilakukan oleh Desryanto et al. (2023) menganalisis penurunan nilai tahanan isolasi pada jaringan runway edge light circuit di Bandar Udara Husein Sastranegara Bandung. Hasil penelitian menunjukkan bahwa nilai tahanan isolasi yang diperoleh sebesar 10,00 k Ω pada rangkaian sepanjang 5799 meter berada jauh di bawah standar minimum 50 M Ω , yang disebabkan oleh faktor lingkungan, usia instalasi, serta kerusakan komponen seperti isolasi kabel yang terkelupas dan penggunaan trafo seri bekas. Selain itu, Corsi et al. (2021) melakukan diagnosis terhadap kegagalan isolation transformer dalam sistem Airfield Ground Lighting (AGL) dengan menganalisis faktor penyebab seperti degradasi termal, kelembapan, dan gangguan dielektrik. Penelitian tersebut menghasilkan model diagnostik yang mampu mendeteksi gejala awal penurunan performa trafo sebelum terjadi kerusakan yang lebih serius.

Meskipun berbagai penelitian tersebut telah mengkaji komponen penting dalam sistem penerangan bandar udara, sebagian besar penelitian masih berfokus pada analisis komponen tertentu seperti CCR, kabel seri, atau isolation transformer secara terpisah. Belum banyak penelitian yang mengkaji kerusakan sistem taxiway edge light secara menyeluruh ketika sistem mengalami kondisi tidak berfungsi pada suatu bandar udara tertentu. Oleh karena itu, penelitian ini dilakukan untuk menganalisis faktor-faktor yang menyebabkan ketidakberfungsian sistem taxiway edge light di Bandara Pangsuma Putussibau, mengevaluasi kondisi teknis peralatan yang ada, serta menyusun rekomendasi pemeliharaan lanjutan yang sesuai. Hasil penelitian ini diharapkan dapat meningkatkan keandalan sistem penerangan taxiway dan mendukung keselamatan operasional penerbangan di Bandara Pangsuma Putussibau.

METODE

A. Metode Yang Digunakan

Pada penelitian ini digunakan metode kuantitatif sebagai desain penelitian utama. Metode kuantitatif merupakan pendekatan penelitian yang menekankan pada penggunaan data numerik serta analisis yang terukur untuk memperoleh kesimpulan yang objektif terhadap suatu permasalahan penelitian (Sugiyono, 2013). Dalam penelitian ini, data yang diperoleh berupa hasil pengukuran teknis pada sistem taxiway edge light di Bandara Pangsuma Putussibau.

Selanjutnya, data teknis yang diperoleh dianalisis dengan membandingkan kondisi eksisting sistem dengan standar serta ketentuan teknis yang berlaku pada sistem penerangan bandar udara. Proses analisis dilakukan menggunakan pendekatan Root Cause Analysis (RCA) untuk mengidentifikasi penyebab utama ketidakberfungsian sistem taxiway edge light secara sistematis, sehingga dapat diperoleh dasar dalam penyusunan rekomendasi pemeliharaan dan perbaikan sistem.

B. Populasi dan Sampel

Dalam penelitian ini, populasi dan sampel penelitian adalah seluruh elemen yang berhubungan dengan operasional dan komponen sistem taxiway edge light di Bandara Pangsuma, meliputi:

1. Peralatan pada sistem penerangan taxiway (taxiway edge light, Constant Current Regulator (CCR), isolation transformer, kabel, dan konektor)
2. Lingkungan fisik di sekitar instalasi, meliputi kondisi permukaan tanah dan drainase di area pemasangan kabel/lampu dan faktor cuaca dan suhu yang mempengaruhi kinerja peralatan.
3. Faktor operasional dan Sumber Daya Manusia (SDM), seperti dokumen riwayat perawatan dan perbaikan peralatan, prosedur pemeliharaan yang berlaku dan ketersediaan teknisi listrik bandara dan tingkat kompetensinya.
4. Terdapat tujuh (7) teknisi listrik bandara yang terlibat langsung dalam kegiatan perawatan sistem taxiway edge light yang menjadi responden untuk wawancara. Pemilihan responden dilakukan berdasarkan pengalaman dan keterlibatan aktif teknisi dalam sistem penerangan bandara.

C. Teknik Pengumpulan Data

Teknik pengumpulan data dalam penelitian ini menggunakan metode utama, antara lain:

- A. Observasi dilakukan secara langsung di lapangan dengan melakukan pengamatan dan penilaian pada kondisi fisik dan fungsi peralatan penerangan taxiway, pengecekan teknis pada jaringan kabel seri FL2XCY dan isolation transformer, lingkungan fisik sekitar instalasi, dan evaluasi kondisi pit (kering, lembap, tergenang), konektor, serta perlengkapan pelindung terhadap air dan korosi.
- B. Wawancara dilakukan dengan teknisi listrik bandara dan pihak terkait lainnya untuk memperoleh informasi tambahan dimana analisis hasil wawancara dikaitkan dengan metode Fishbone diagram untuk mengidentifikasi faktor penyebab utama. Wawancara dilakukan secara semi-terstruktur menggunakan pendekatan 5W+1H.
- C. Dokumentasi mencakup pengumpulan bukti visual dan dokumen pendukung, seperti:
 - a. Pengukuran peralatan meliputi pengukuran tahanan isolasi, pengujian kontinuitas, dan pengukuran tambahan lainnya untuk mengetahui kondisi kelistrikan pada kabel, isolation transformer, dan peralatan pendukung.
 - b. Pengumpulan Data Administratif dan data Cuaca
 - c. Analisis standar dilakukan dengan mengacu pada :
 - PR 26 Tahun 2022.
 - FAA AC 150/5340-26C.
 - FAA AC 150/5345-10H.
 - ICAO Doc 9157 Part 5.
 - Literatur yang relevan terkait permasalahan terhadap jaringan dan taxiway edge light.

Standar-standar ini digunakan untuk membandingkan kondisi lapangan dengan spesifikasi dan batas minimum yang diizinkan.

Metode pengumpulan data dalam penelitian ini dilakukan secara menyeluruh melalui pengukuran teknis, observasi lingkungan, wawancara, serta analisis dokumen. Metode dokumentasi digunakan untuk mendukung validasi hasil observasi dan wawancara sekaligus memperkuat analisis historis terhadap kondisi sistem penerangan. Seluruh metode tersebut dirancang untuk menangkap informasi teknis maupun non-teknis yang memengaruhi kinerja sistem taxiway edge light, sehingga hasil analisis yang diperoleh dapat digunakan sebagai dasar dalam memberikan rekomendasi perbaikan dan pemeliharaan yang komprehensif.

D. Teknik Pengolahan Data

Data yang diperoleh dari observasi, wawancara, dan dokumentasi diolah melalui beberapa tahapan berikut:

1. Variabel Penelitian

Penelitian ini menganalisis beberapa variabel yang berpengaruh terhadap keandalan sistem taxiway edge light, yang dikelompokkan menjadi tiga kategori:

a. Variabel Teknis

- Kondisi fisik dan fungsional komponen sistem (lampu, CCR, isolation transformer, kabel, konektor);
- Nilai tahanan isolasi kabel terhadap tanah dan antar-inti;
- Nilai tahanan tanah sistem grounding;
- Stabilitas arus keluaran CCR (6.6 A);
- Kondisi mekanis pit, konektor, dan terminal sambungan.

b. Variabel Lingkungan

- Kondisi drainase dan kelembapan tanah di sekitar jalur instalasi;
- Pengaruh curah hujan, suhu, dan genangan air terhadap isolasi kabel dan konektor.

c. Variabel Operasional dan SDM

- Frekuensi serta metode pemeliharaan rutin dan korektif;
- Kompetensi teknisi dalam pelaksanaan perawatan;
- Ketersediaan dokumen dan standar operasional perawatan sistem AGL.

2. Tahapan Pelaksanaan Penelitian

Pelaksanaan penelitian dilakukan melalui beberapa tahapan yang disusun secara sistematis agar data yang diperlukan dapat dikumpulkan dan dianalisis secara komprehensif. Penelitian diawali dengan studi pendahuluan melalui observasi awal terhadap kondisi sistem taxiway edge light serta pengumpulan informasi dari teknisi terkait riwayat kerusakan untuk memperoleh gambaran umum permasalahan. Selanjutnya dilakukan pengumpulan data teknis terhadap komponen sistem yang meliputi lampu taxiway, isolation transformer 6.6 A, kabel FL2XCY 6 mm², Constant Current Regulator (CCR), serta panel distribusi dan sistem grounding. Pengukuran dan observasi lapangan kemudian dilakukan untuk mengetahui kondisi aktual sistem, seperti pengukuran tahanan isolasi kabel dan trafo seri menggunakan megger, serta pemeriksaan kondisi fisik pit, konektor, dan panel distribusi. Untuk melengkapi analisis, dilakukan wawancara dengan teknisi serta pengumpulan data lingkungan yang berkaitan dengan kondisi cuaca dan kelembapan. Seluruh data yang diperoleh dianalisis dengan membandingkan kondisi eksisting sistem terhadap standar teknis yang berlaku. Identifikasi akar penyebab kerusakan dilakukan menggunakan metode Fishbone Diagram (5M), sedangkan penentuan prioritas permasalahan menggunakan metode USG (Urgency, Seriousness, Growth). Hasil analisis tersebut kemudian menjadi dasar dalam penyusunan rekomendasi teknis dan manajerial guna meningkatkan keandalan sistem taxiway edge light serta mendukung keselamatan operasional bandar udara.

Tahapan pengolahan dan analisis data dalam penelitian ini merupakan bagian dari tahap perencanaan (Plan) dalam pendekatan PDCA yang digunakan sebagai kerangka penyusunan rekomendasi pemeliharaan dan perbaikan sistem taxiway edge light. Hasil dari seluruh proses perencanaan tersebut digunakan sebagai dasar dalam merumuskan rekomendasi pemeliharaan yang meliputi tindakan teknis, usulan perbaikan manajerial, serta penyusunan rancangan Standar Operasional Prosedur (SOP) sebagai salah satu produk pendukung.

HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Gambaran Umum Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan di Bandara Pangsuma, Kabupaten Kapuas Hulu, Kalimantan Barat, yang merupakan salah satu bandara perintis di wilayah kerja Direktorat Jenderal Perhubungan Udara. Sistem penerangan di bandara ini memiliki peran penting dalam mendukung operasi penerbangan malam hari maupun saat kondisi visibilitas rendah, termasuk pada area taxiway yang berfungsi sebagai jalur penghubung antara runway dan apron. Selama beberapa tahun terakhir, sistem taxiway edge light di bandara ini tidak dapat berfungsi sebagaimana mestinya. Berdasarkan pengamatan awal di lapangan, seluruh lampu taxiway ditemukan dalam kondisi padam, meskipun sebagian besar komponen masih terpasang secara fisik. Permasalahan utama diduga berasal dari ketidakberfungsian unit Constant Current Regulator (CCR) yang menjadi sumber utama arus sistem seri, serta adanya penurunan kualitas isolasi kabel dan konektor akibat faktor lingkungan yang lembap. Melihat kondisi

tersebut, penelitian ini difokuskan untuk menganalisis penyebab kerusakan sistem penerangan taxiway edge light, mencakup aspek teknis dan manajerial, serta menyusun rekomendasi pemeliharaan agar sistem dapat kembali berfungsi sesuai standar operasional. Pendekatan dengan menggunakan RCA (Root Cause Analysis) yang mengacu pada Peraturan Direktur Jenderal Perhubungan Udara Nomor PR 26 Tahun 2022, serta standar internasional FAA AC 150/5340 dan ICAO Doc 9157 Part 5.

B. Analisis Akar Masalah Menggunakan Fishbone diagram

Analisis Fishbone diagram (Ishikawa Diagram) digunakan untuk menelusuri penyebab utama dari tidak berfungsinya sistem taxiway edge light. Metode ini membantu mengelompokkan faktor penyebab ke dalam beberapa kategori sehingga hubungan antar penyebab dapat dianalisis secara sistematis. Pendekatan ini tepat digunakan untuk sistem AGL yang memiliki keterkaitan erat antara komponen teknis, lingkungan, serta prosedur pemeliharaan.

Tabel 1 Fishbone diagram

Faktor	Masalah Utama	Keterangan
Man	Ketidakteraturan pemeliharaan akibat ketergantungan pada teknisi tertentu dan kurangnya transfer pengetahuan	Pemeliharaan sistem tidak berjalan konsisten karena pergantian teknisi tidak disertai handover, keterbatasan pemahaman teknisi baru, serta tidak tersedianya riwayat kerusakan yang terdokumentasi
Method	Tidak adanya prosedur formal dan pencatatan teknis yang terstruktur	Kegiatan pemeliharaan dan inspeksi sistem belum didukung SOP khusus, interval pemeriksaan yang baku, serta dokumentasi teknis yang memadai
Machine	CCR tidak berfungsi sehingga sistem tidak dapat menyala dan pengujian loop tidak dapat dilakukan	Kerusakan pada CCR dan keterbatasan sarana pendukung menyebabkan sistem tidak dapat diuji maupun dioperasikan secara normal
Material	Degradasi isolasi kabel primer akibat usia dan kondisi lingkungan	Kondisi material instalasi yang telah melewati umur layanan dan terpapar lingkungan lembap menyebabkan penurunan kualitas isolasi kabel dan konektor
Environment	Kelembapan tinggi dan pit tergenang mempercepat penurunan isolasi	Kondisi lingkungan dengan curah hujan dan kelembapan tinggi serta sistem drainase yang kurang optimal mempercepat degradasi isolasi instalasi



Gambar 1 Fishbone diagram

• Interpretasi Makna Diagram Fishbone

Hasil fishbone memperlihatkan bahwa kerusakan sistem taxiway edge light bersifat sistemik, bukan disebabkan oleh satu komponen saja. Faktor Material dan Machine menunjukkan kontribusi paling besar terhadap kegagalan sistem. Dimana pada faktor Material mengenai kabel menua, IR rendah, konektor getas dan faktor Machine mengenai CCR rusak total, tidak ada output arus 6,6 A. Sedangkan faktor Method memperburuk kondisi karena tidak adanya SOP dan dokumentasi, sementara faktor Environment mempercepat degradasi isolasi akibat kelembapan tinggi dan genangan air. Faktor Man berperan sebagai pemicu tambahan karena teknisi tidak memiliki

pedoman dan riwayat kerusakan yang jelas. Dengan demikian, fishbone menggambarkan bahwa gangguan sistem adalah akibat kombinasi faktor teknis, lingkungan, dan manajerial. Berdasarkan hasil interpretasi diagram fishbone tersebut dilakukan penentuan akar masalah dilakukan dengan mengaitkan fishbone dengan hasil pengukuran IR (nilai rendah), kondisi CCR (tidak menyala), observasi lingkungan (pit tergenang), wawancara teknisi, dan pembuktian melalui USG Hasil integrasi data menunjukkan bahwa akar masalah utama sistem adalah:

1. Degradasi material sistem (kabel, konektor, dan trafo), ditunjukkan oleh IR rendah, water ingress, dan usia komponen.
2. Kerusakan CCR sehingga sistem tidak dapat menyala, membuktikan faktor Machine sebagai penyebab dominan.

C. Pengujian Data Teknis Sistem

Pengujian data teknis dilakukan untuk memperoleh gambaran menyeluruh mengenai kondisi komponen utama penyusun sistem taxiway edge light yang digunakan untuk menilai apakah setiap komponen masih memenuhi standar teknis serta untuk mengetahui bagian mana yang menunjukkan tanda-tanda degradasi sehingga dapat berkontribusi terhadap gangguan sistem secara keseluruhan. Komponen yang dinilai meliputi sumber daya listrik, Constant Current Regulator (CCR), lampu taxiway, isolation transformer, kabel seri FL2XCY, konektor L-823, serta panel proteksi. Hasil identifikasi teknis seluruh komponen dirangkum pada Tabel berikut ini.

Tabel 2 Data Teknis Sistem Taxiway Edge light

No	Komponen Sistem	Spesifikasi Teknis	Keterangan
1	Sumber Daya (PLN → MDP → Panel CCR)	Tegangan 220 V AC	Instalasi rapi dan stabil, tidak ditemukan anomali suplai
2	CCR – Constant Current Regulator	Augier DIAM 4000, 6.6 A, 7.5 kVA	Tidak beroperasi; beberapa modul hilang/dikanibal; arus loop tidak tersedia
3	Lampu Taxiway Edge	OCEM, 45 W, PK30d, biru, 26 unit	Fisik baik; tidak menyala akibat CCR mati
4	Isolation transformer	45 W, 6.6 A, 5 kV insulation	Pit lembap; housing sedikit korosi; perlu pengeringan & cek seal
5	Kabel seri FL2XCY 6 mm ²	Panjang ±2200 m	Beberapa bagian lembap; nilai IR antar-core sangat rendah
6	Konektor L-823	Resin-sealed, IP68	Seal mengeras; risiko water ingress
7	Panel CCR & Proteksi	MCB output 40 A, panel tertutup	Kondisi baik; perlu SPD Class II untuk proteksi lonjakan

Berdasarkan hasil pengujian data teknis, terlihat bahwa dua komponen yang menunjukkan deviasi paling signifikan adalah CCR yang mengalami kegagalan fungsi total serta kabel primer yang menunjukkan penurunan nilai isolasi cukup besar. Kedua komponen ini berpotensi memberikan dampak langsung terhadap gangguan sistem, mengingat peran CCR sebagai sumber arus rangkaian seri dan fungsi kabel sebagai media utama penghantar daya ke seluruh lampu taxiway.

Sementara itu, komponen lain seperti lampu, isolation transformer, konektor, serta panel proteksi umumnya masih dalam kondisi layak, meskipun beberapa temuan seperti pit lembap dan seal konektor yang mengeras tetap perlu mendapat perhatian karena dapat mempercepat penurunan performa isolasi.

Hasil penilaian teknis ini memberikan gambaran awal mengenai kondisi komponen utama sistem. Untuk memastikan sejauh mana pengaruh kerusakan tersebut terhadap performa keseluruhan instalasi, diperlukan analisis tambahan berdasarkan hasil pengukuran nilai isolasi, kontinuitas, dan kondisi lingkungan yang diperoleh dari lapangan

D. Pengujian Data Pengukuran

Pengujian data pengukuran dilakukan untuk mendapatkan gambaran kuantitatif mengenai kondisi aktual komponen sistem taxiway edge light. Pengujian ini mencakup tahanan isolasi kabel, isolation transformer, sistem pentanahan (grounding), performa keluaran Constant Current Regulator (CCR).

Seluruh pengujian dilakukan menggunakan alat ukur Insulation Resistance Tester untuk pengujian isolasi, Earth Tester untuk pengukuran grounding, serta multimeter dan clamp meter untuk pengukuran arus dan tegangan pada CCR. Tegangan uji untuk pemeriksaan isolasi ditetapkan sebesar

5000 V DC, sesuai praktik pemeliharaan instalasi AGL. Hasil pengujian dibandingkan dengan standar teknis yang berlaku, antara lain:

- PR 26 Tahun 2022 – standar perawatan dan inspeksi AGL
- FAA AC 150/5340-26C – standar minimum nilai tahanan isolasi
- PUIL 2011 – standar nilai pentanahan ($\leq 5 \Omega$)

Pengujian ini menghasilkan data berupa nilai isolasi antar-core dan core-to-ground kabel, nilai isolasi isolation transformer, nilai resistansi ground, performa keluaran CCR, serta kondisi kontinuitas rangkaian. Seluruh hasil pengukuran disajikan dalam tabel.

a. Hasil analisis Pengujian Tahanan Isolasi Kabel

Tabel 3 Pengujian Tahanan Isolasi Kabel

No	Segmen / Lokasi	Jenis Pengujian	Nilai IR (MΩ)	Standar	Kondisi	Catatan Teknis
1	Segmen 1	Core to Core	0.2 MΩ	$\geq 50 \text{ M}\Omega$	Tidak memenuhi	Indikasi degradasi isolasi antar-core
		Core to Ground	728 MΩ	$\geq 50 \text{ M}\Omega$	Baik	Tidak ada kebocoran ke tanah
2	Segmen 2	Core to Core	0.3 MΩ	$\geq 50 \text{ M}\Omega$	Tidak memenuhi	Umur kabel ; kemungkinan water ingress
		Core to Ground	471 MΩ	$\geq 50 \text{ M}\Omega$	Baik	Isolasi luar masih baik
3	Segmen 3	Core to Core	0.4 MΩ	$\geq 50 \text{ M}\Omega$	Tidak memenuhi	Penurunan kualitas isolasi
		Core to Ground	806 MΩ	$\geq 50 \text{ M}\Omega$	Baik	Tidak ada indikasi grounding fault
4	Segmen 4	Core to Core	0.2 MΩ	$\geq 50 \text{ M}\Omega$	Tidak memenuhi	Perlu penelusuran titik kerusakan
		Core to Ground	301 MΩ	$\geq 50 \text{ M}\Omega$	Baik	Nilai memadai dan stabil
5	Segmen 5	Core to Core	0.2 MΩ	$\geq 50 \text{ M}\Omega$	Tidak memenuhi	Potensi short antar-core
		Core to Ground	358 MΩ	$\geq 50 \text{ M}\Omega$	Baik	Kondisi isolasi eksternal aman

Berdasarkan tabel hasil pengukuran menunjukkan bahwa nilai tahanan isolasi Core-to-Core berada pada rentang 0.2–0.4 MΩ, jauh di bawah standar minimum 50 MΩ. Nilai ini mengindikasikan terjadinya degradasi isolasi internal kabel yang cukup parah. Penyebab penurunan isolasi dapat berasal dari:

- Penuaan kabel akibat umur penggunaan lebih dari 15 tahun,
- Kondisi tanah lembap yang dapat mempercepat deteriorasi isolasi,
- Potensi water ingress pada pit dan konektor,
- Tekanan mekanis atau kondisi lingkungan yang tidak stabil.

Sebaliknya, nilai Core-to-Ground berada pada rentang 301–806 MΩ, yang tergolong sangat baik. Hal ini menunjukkan bahwa kabel tidak mengalami kebocoran arus ke tanah, dan isolasi eksternal masih terjaga dengan baik.

Perbedaan mencolok antara nilai C–C dan C–T ini mengarahkan kesimpulan bahwa kerusakan kabel bersifat internal antar inti, bukan kerusakan menyeluruh pada bagian luar kabel. Dengan demikian, kabel primer menjadi salah satu komponen yang mengalami penurunan performa signifikan.

b. Hasil Analisis Pengukuran Isolation transformer

Tabel 4 Pengukuran Isolation transformer

No	Lokasi Trafo	Nomor	Nilai IR (GΩ)	Standar	Kondisi	Catatan Teknis
----	--------------	-------	---------------	---------	---------	----------------

1	Dekat CCR	1–5	202 GΩ	≥100 MΩ	Sangat baik	Housing kotor namun kering
2	Awal Taxiway	6–10	95 GΩ	≥100 MΩ	Baik	Perlu pembersihan
3	Tengah Taxiway	11–15	67.4 GΩ	≥100 MΩ	Baik	Masih di ambang aman
4	Menuju Apron	16–20	130 GΩ	≥100 MΩ	Sangat baik	Trafo normal
5	Apron Ujung	21–26	70.5 GΩ	≥100 MΩ	Baik	Kotor namun tidak rusak

Berdasarkan tabel hasil pengukuran isolation transformer menunjukkan nilai tahanan isolasi sangat tinggi, yaitu pada rentang 67–202 GΩ. Nilai pada level giga-ohm ini menandakan bahwa isolasi internal transformer masih dalam kondisi sangat baik, tidak ada kebocoran arus, tidak ada indikasi kerusakan koil atau resin isolasi, dan trafo masih aman dan layak digunakan. Temuan ini memperkuat bahwa isolation transformer bukan penyebab sistem tidak beroperasi dan tidak berkontribusi pada gangguan utama.

c. Hasil Analisis Pengukuran Grounding System

Tabel 5 Pengukuran Grounding System

No	Titik Ground	Nilai (Ω)	Standar	Kondisi	Catatan Teknis
1	Terminal Ground CCR	2.47 Ω	≤ 5 Ω	Baik	Grounding stabil
2	Tengah Jalur	1.0 Ω	≤ 5 Ω	Baik	Sangat baik
3	Area Apron	0.98 Ω	≤ 5 Ω	Baik	Nilai sangat optimal

Nilai pentanahan yang diperoleh berkisar pada 0.98–2.47 Ω, yang sepenuhnya memenuhi standar PUIL 2011 (≤ 5 Ω). Nilai resistansi yang rendah menandakan bahwa sistem grounding masih bekerja dengan baik, memiliki kontak tanah yang stabil, dan mampu mengalirkan fault current dengan aman. Sehingga, grounding tidak menjadi faktor penyebab gangguan dan tidak memberikan pengaruh negatif terhadap performa sistem AGL.

d. Hasil Analisis Pengujian Output CCR

Tabel 6 Pengujian Output CCR

No	Step Brightness	Parameter	Nilai	Standar	Kondisi
1	Step 1	Arus output	–	6.6 A	Tidak berfungsi
2	Step 1	Tegangan output	–	Ada tegangan	Tidak berfungsi
3	Step 3	Arus output	–	6.6 A	Tidak berfungsi
4	Step 5	Arus output	–	6.6 A	Tidak berfungsi

Semua pengujian tegangan dan arus pada CCR menghasilkan nilai nol atau tidak ada output pada seluruh level kecerahan. Kondisi ini menunjukkan bahwa CCR mengalami kegagalan fungsi total, diperkuat dengan temuan bahwa beberapa modul internal telah dikanibal. Oleh karena itu, CCR menjadi komponen penyebab utama padam total sistem.

Berdasarkan hasil keseluruhan pengukuran, dapat disimpulkan bahwa gangguan pada sistem taxiway edge light terutama disebabkan oleh:

- 1) Kerusakan total pada Constant Current Regulator (CCR) yang mengakibatkan tidak adanya arus pada rangkaian seri.
- 2) Penurunan signifikan nilai tahanan isolasi kabel seri FL2XCY, yang menunjukkan adanya degradasi internal antar inti kabel.
- 3) Komponen lain seperti isolation transformer dan grounding berada dalam kondisi baik dan tidak memberikan kontribusi terhadap gangguan.

Hasil pengukuran ini memberikan gambaran kuantitatif mengenai tingkat kerusakan dan menjadi dasar kuat dalam menganalisis pengaruh lingkungan dan faktor non-teknis yang akan dijelaskan pada bagian berikut.

E. Pengujian Observasi Lingkungan

Observasi lingkungan dilakukan untuk menilai pengaruh kondisi cuaca dan kondisi fisik lapangan terhadap performa sistem taxiway edge light. Faktor-faktor seperti kelembapan udara, frekuensi hujan, kondisi tanah, serta keadaan pit dan konektor dapat berkontribusi terhadap penurunan isolasi kabel dan keandalan komponen yang tertanam.

Data cuaca dari BMKG digunakan untuk memahami kondisi lingkungan makro, khususnya periode dengan kelembapan tinggi dan curah hujan besar yang berpotensi meningkatkan risiko water ingress. Sementara itu, pengamatan langsung di lapangan memberikan gambaran kondisi lingkungan mikro, seperti pit yang lembap, adanya genangan tipis, seal konektor yang mengeras, dan tanah yang jenuh air.

Kedua informasi ini diperlukan untuk melihat hubungan antara lingkungan dengan hasil nilai tahanan isolasi kabel pada subbab sebelumnya, serta untuk mengidentifikasi faktor eksternal yang mempercepat degradasi sistem.

Tabel 7 Parameter Cuaca Tahun 2024

Bulan	Suhu Udara (°C)	Kelembapan (%)	Hari Hujan (hari)	Curah Hujan (mm/bulan)
Januari	27.5	83.5	19	497.4
Februari	27.9	84.1	20	315.1
Maret	28.1	83.9	18	451.3
April	28.1	84.7	21	340.0
Mei	28.4	84.1	19	411.1
Juni	27.7	84.5	17	333.6
Juli	27.9	80.4	13	163.0
Agustus	27.3	84.8	24	467.1
September	28.2	79.7	15	421.6
Oktober	27.8	82.8	22	305.6
November	27.4	85.1	27	554.2
Desember	27.5	84.3	22	410.2
Rata-rata	27.83	83.4	19.75	405.0

Tabel 8 Kondisi Lingkungan Aktual Sistem Taxiway Edge light

No	Lokasi / Segmen	Kondisi Tanah / Drainase	Kondisi Pit & Peralatan	Kondisi Lampu	Vegetasi / Gangguan	Keterangan
1	Dekat CCR (1-5)	Lembap, tidak tergenang	Bersih, tidak ada air	Utuh	Bersih	Pit relatif kering, namun kelembapan tinggi.
2	Awal Taxiway (6-10)	Lembap-tergenang lokal	Ada air, endapan tipis	Utuh	Ada rumput	Potensi water ingress, perlu perbaikan drainase.
3	Tengah Taxiway (11-15)	Lembap-tergenang	Ada air, kondisi seal mengeras	Utuh	Ada rumput	Kelembapan konstan menyebabkan risiko penurunan isolasi.
4	Menuju Apron (16-20)	Lembap-tergenang	Ada air, pit kotor	Utuh	Ada rumput	Pit sering jenuh air pada musim hujan.
5	Area Apron Ujung (21-26)	Tergenang	Ada air, korosi ringan	Utuh	Bersih	Daerah paling rawan genangan dan aging peralatan.

Berdasarkan data cuaca tahun 2024 dari Stasiun Meteorologi Pangsuma Kapuas Hulu, kondisi lingkungan sekitar bandara didominasi oleh tingkat kelembapan yang tinggi dengan rata-rata 83,4% serta curah hujan bulanan rata-rata 405 mm/bulan dengan puncak 554,2 mm pada bulan November. Kondisi ini menyebabkan tanah di sekitar jalur taxiway cenderung jenuh air sehingga area dengan drainase kurang baik mudah mengalami genangan atau kelembapan berkepanjangan. Hasil observasi lapangan menunjukkan bahwa beberapa pit instalasi taxiway edge light, khususnya pada segmen tengah hingga ujung apron, berada dalam kondisi lembap hingga tergenang dengan endapan tipis. Selain itu ditemukan seal konektor yang mengeras serta housing isolation transformer yang mengalami korosi ringan, yang mengindikasikan adanya potensi water ingress berulang setelah periode hujan intensitas tinggi.

Kondisi tersebut sejalan dengan literatur teknis yang menyatakan bahwa lingkungan lembap dapat mempercepat degradasi isolasi sistem AGL. ICAO melalui Aerodrome Design Manual Part 5 – Electrical Systems menegaskan bahwa komponen AGL harus ditempatkan pada pit yang kering dan memiliki drainase baik untuk mencegah peningkatan kelembapan pada area sambungan (ICAO, 2022). Panduan FAA AC 150/5340-26C juga menyebutkan bahwa pit yang tergenang merupakan salah satu penyebab umum kerusakan kabel primer dan konektor karena air dapat masuk melalui celah seal dan menurunkan resistansi isolasi (FAA, 2017). Temuan lapangan menunjukkan bahwa segmen dengan kondisi pit lembap memiliki nilai insulation resistance core-to-core terendah, yaitu 0,2–0,4 M Ω , jauh di bawah standar pemeliharaan 50 M Ω . Fenomena ini juga didukung oleh penelitian Liu (2022) yang menyatakan bahwa moisture intrusion dapat menurunkan resistivitas isolasi secara progresif, serta studi National Bureau of Standards (NBS Report 8106) yang menunjukkan bahwa isolasi XLPE pada kabel dapat menyerap air dalam kondisi jenuh sehingga meningkatkan konduktivitas dan mempercepat penurunan nilai insulation resistance.

Dengan demikian, lingkungan makro (curah hujan tinggi, kelembapan udara tinggi) dan lingkungan mikro (pit lembap, air tergenang, seal konektor mengeras) memberikan kontribusi yang nyata terhadap penurunan performa isolasi kabel primer. Meskipun bukan satu-satunya faktor penyebab padam totalnya sistem karena kerusakan CCR tetap menjadi penyebab utama lingkungan berperan sebagai faktor pendukung yang mempercepat degradasi komponen terutama pada jalur yang jauh dari CCR.

Berdasarkan keseluruhan hasil analisis, dapat disimpulkan bahwa kondisi lingkungan yang lembap sepanjang tahun serta kondisi pit yang tidak sepenuhnya kering merupakan faktor eksternal yang mempercepat penurunan nilai isolasi kabel dan menurunkan keandalan sistem secara bertahap. Temuan ini menjadi dasar penting untuk mengidentifikasi hubungan antara faktor teknis dan non-teknis, yang akan dianalisis lebih lanjut pada subbab berikutnya melalui hasil wawancara teknis dan kajian administrasi pemeliharaan.

F. Analisis Wawancara Teknis dan Manajemen Pemeliharaan

Berdasarkan hasil wawancara dengan teknis lapangan dan petugas yang terlibat dalam pemeliharaan sistem taxiway edge light, diketahui bahwa faktor manusia dan manajemen pemeliharaan turut memengaruhi menurunnya keandalan sistem. Selain kerusakan teknis seperti kegagalan Constant Current Regulator (CCR) dan penurunan isolasi kabel, terdapat hambatan non-teknis yang memperlambat proses identifikasi dan perbaikan gangguan. Pergantian personel teknis yang terjadi sebelum dan sesudah tahun 2020 tidak diikuti dengan transfer pengetahuan dan dokumentasi yang memadai mengenai riwayat kerusakan, konfigurasi sistem, maupun metode instalasi. Kondisi ini menyebabkan teknis yang bertugas setelahnya mengalami kesulitan dalam memahami kondisi awal sistem dan melakukan penelusuran kerusakan secara efektif.

Selain itu, dokumentasi pemeliharaan sistem juga sangat terbatas. Logbook pemeliharaan khusus untuk sistem taxiway edge light baru mulai dibuat pada tahun 2022, sehingga riwayat pemeriksaan seperti pengukuran tahanan isolasi, inspeksi pit, maupun pemeriksaan konektor sebelumnya tidak tercatat secara sistematis. Wawancara juga menunjukkan bahwa CCR pernah mengalami penggantian komponen dan kanibalisasi internal tanpa dokumentasi yang jelas. Di sisi lain, pemeliharaan sistem belum didukung oleh SOP khusus yang mengatur inspeksi dan pengujian berkala, sehingga kegiatan pemeliharaan cenderung bersifat reaktif. Kondisi tersebut tidak sejalan dengan rekomendasi standar FAA dan ICAO yang menekankan pentingnya inspeksi rutin pada sistem AGL, terutama pada lingkungan dengan tingkat kelembapan tinggi.

G. Penilaian Prioritas Masalah Menggunakan USG

Metode USG (Urgency, Seriousness, Growth) digunakan untuk menentukan tingkat prioritas masalah yang telah diidentifikasi melalui fishbone diagram. Metode ini membantu mengukur seberapa

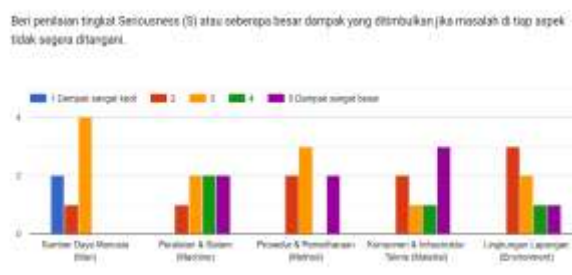
mendesak suatu masalah (urgency), seberapa serius dampaknya terhadap sistem (seriousness), dan seberapa cepat masalah tersebut akan berkembang jika tidak ditangani (growth). Penggunaan USG dilakukan untuk memberikan dasar objektif dalam menyusun rekomendasi yang memiliki dampak terbesar terhadap keandalan sistem.

Skor USG diperoleh dari hasil wawancara teknis serta hasil interpretasi data teknis, pengukuran, dan observasi lingkungan pada subbab sebelumnya. Matriks penilaian berdasarkan kategori 5M yang telah ditetapkan dalam fishbone. Setiap faktor dinilai dengan skala 1–5 untuk masing-masing aspek Urgency (U), Seriousness (S), dan Growth (G). Dalam pemberian penilaian terhadap skor USG dengan berdasarkan hasil wawancara terhadap tujuh (7) teknisi listrik bandara yang terlibat langsung dalam pemeliharaan sistem taxiway edge light dan analisis teknis. Penilaian ini diterapkan pada faktor penyebab yang telah diidentifikasi melalui fishbone diagram, yaitu Man, Machine, Method, Material, dan Environment, dengan tujuan menentukan tingkat prioritas penanganan gangguan sistem.

Setiap responden memberikan skor 1–5 untuk aspek Urgency (U), Seriousness (S), dan Growth (G) pada masing-masing faktor. Skor USG diperoleh dengan mengalikan nilai skor yang dipilih dengan jumlah responden pada setiap pilihan, kemudian dijumlahkan untuk mendapatkan nilai total tiap aspek. Pendekatan ini merepresentasikan persepsi kolektif teknisi terhadap tingkat kedaruratan, dampak, dan potensi perkembangan masalah. Hasil penilaian USG selanjutnya disajikan dalam bentuk diagram distribusi Urgency, Seriousness, dan Growth sebagaimana ditunjukkan pada Gambar di bawah ini.



Gambar 2 Diagram Penilaian Urgency (U)



Gambar 3 Diagram Penilaian Seriousness (S)



Gambar 4 Diagram Penilaian Growth (G)

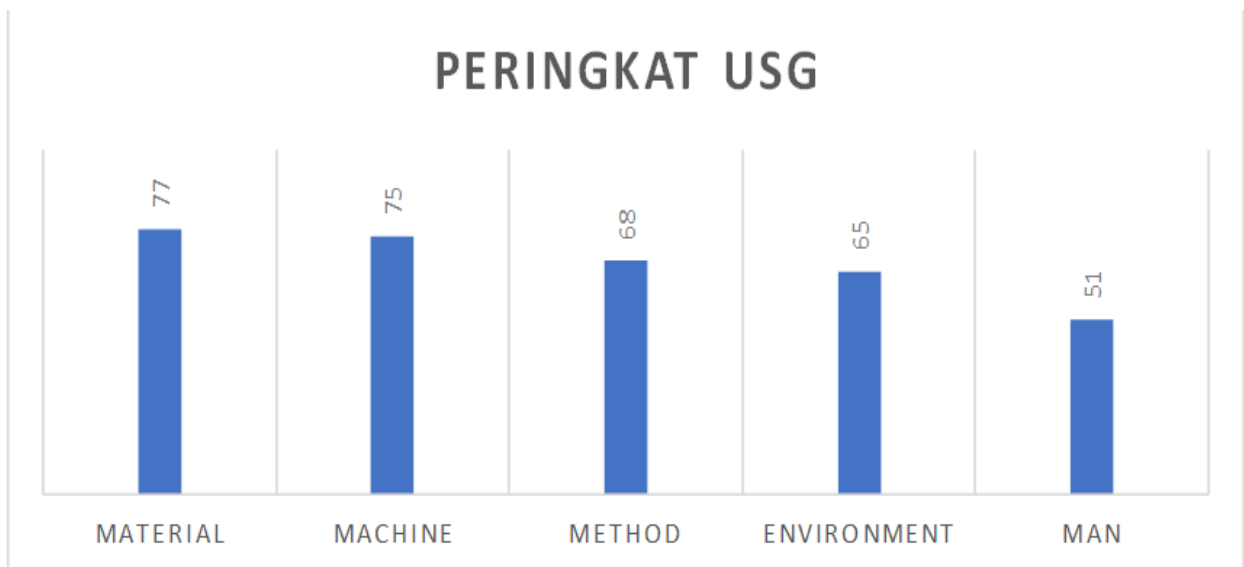
Berdasarkan diagram penilaian USG, selanjutnya dilakukan perhitungan skor untuk masing-masing faktor dengan mengalikan skor penilaian dengan jumlah responden pada setiap aspek utama. Hasil perhitungan tersebut kemudian direkapitulasi dan disajikan secara rinci dalam Tabel di bawah ini sebagai dasar penentuan total skor dan peringkat prioritas masalah.

Tabel 9 Perhitungan Skor Penilaian USG Berdasarkan Diagram Penilaian USG

Faktor	Aspek	Skor USG	Jumlah Responden	Hasil Perhitungan (Skor USG x Jumlah Responden)	Total Skor
Man	Urgency	1	2	2	16
		2	1	2	
		3	4	12	
		4	0	0	
		5	0	0	
	Seriousness	1	2	2	16
		2	1	2	
		3	4	12	
		4	0	0	
		5	0	0	
	Growth	1	0	0	19
		2	3	6	
		3	3	9	
		4	1	4	
		5	0	0	
Machine	Urgency	1	1	1	23
		2	1	2	
		3	2	6	
		4	1	4	
		5	2	10	
	Seriousness	1	0	0	26
		2	1	2	
		3	2	6	
		4	2	8	
		5	2	10	
	Growth	1	0	0	26
		2	0	0	
		3	3	9	
		4	3	12	
		5	1	5	
Method	Urgency	1	0	0	22
		2	3	6	
		3	2	6	
		4	0	0	
		5	2	10	
	Seriousness	1	0	0	23
		2	2	4	
		3	3	9	

		4	0	0	23
		5	2	10	
	Growth	1	0	0	
		2	1	2	
		3	4	12	
		4	1	4	
5	1	5			
Material	Urgency	1	0	0	27
		2	1	2	
		3	2	6	
		4	1	4	
		5	3	15	
	Seriousness	1	0	0	26
		2	2	4	
		3	1	3	
		4	1	4	
		5	3	15	
	Growth	1	0	0	24
		2	1	2	
		3	4	12	
		4	0	0	
		5	2	10	
Environment	Urgency	1	0	0	24
		2	1	2	
		3	3	9	
		4	2	8	
		5	1	5	
	Seriousness	1	0	0	21
		2	3	6	
		3	2	6	
		4	1	4	
		5	1	5	
	Growth	1	0	0	20
		2	1	2	
		3	6	18	
		4	0	0	
		5	0	0	

Metode perhitungan ini diterapkan secara konsisten pada seluruh faktor sehingga diperoleh total skor USG yang digunakan untuk menentukan prioritas penanganan permasalahan sistem taxiway edge light. Selanjutnya, disajikan tabel yang berisi tentang rekap hasil dari perhitungan jumlah dari diagram penilaian diatas dan diagram yang menunjukkan peringkat prioritas hasil dari rekap skor USG.



Gambar 5 Skor Peringkat Diagram USG

Interpretasi skor:

Material memperoleh skor tertinggi karena menunjukkan degradasi isolasi kabel, kerusakan konektor, dan potensi water ingress yang langsung memengaruhi kontinuitas arus. Machine mendapat skor tinggi karena CCR sebagai komponen inti sistem berada dalam kondisi rusak total dan tidak dapat menjalankan fungsi pemberian arus 6,6 A. Method dan Environment berada pada kategori sedang karena keduanya merupakan faktor yang memperburuk kondisi tetapi bukan penyebab primer. Man memiliki skor paling rendah karena perannya lebih bersifat komplementer, bukan penyebab langsung kerusakan teknis.

H. Penentuan Masalah Utama

Berdasarkan dari hasil USG, hasil fishbone, hasil pengujian teknis, hasil pengukuran IR, kondisi CCR, kondisi lingkungan, dan wawancara teknisi maka ditetapkan bahwa akar masalah utama sistem taxiway edge light adalah:

1. Degradasi material sistem (kabel primer, konektor, komponen instalasi), terbukti melalui nilai IR rendah, usia kabel > 15 tahun, dan indikasi water ingress.
2. Kerusakan CCR yang menyebabkan sistem tidak dapat menyala sama sekali, CCR tidak menghasilkan arus 6,6 A dan modul internal mengalami kerusakan berat.

Kedua faktor ini menjadi dasar utama dalam penyusunan rekomendasi lanjutan. Masalah lain seperti Method, Environment, dan Man dapat terselesaikan dengan menindaklanjuti faktor yang paling dominan, yaitu faktor Machine dan Material.

SIMPULAN

Berdasarkan hasil pembahasan dan pengujian sebelumnya, diperoleh kesimpulan bahwa hasil analisis kerusakan menunjukkan akar masalah utama yang perlu menjadi dasar rekomendasi pemeliharaan lanjutan adalah degradasi material kabel, kerusakan CCR, serta ketiadaan prosedur pemeliharaan yang terstruktur. Berdasarkan analisis fishbone dan penilaian USG menempatkan faktor Material (skor 77) dan Machine (skor 75) sebagai penyebab prioritas tertinggi, disusul kurangnya SOP dan dokumentasi pemeliharaan (Method) yang menempati prioritas menengah. Selain itu, faktor teknis yang menyebabkan sistem taxiway edge light di Bandara Pangsuma Putussibau tidak berfungsi dengan baik berasal dari kombinasi kerusakan pada komponen utama, degradasi material, dan kondisi lingkungan. Hasil pengukuran menunjukkan bahwa beberapa segmen kabel primer mengalami penurunan nilai tahanan isolasi yang signifikan (0,2–0,4 MΩ), mengindikasikan degradasi isolasi akibat usia kabel, kelembapan tinggi, dan potensi water ingress. CCR taxiway juga tidak dapat beroperasi dan kondisi pit yang lembap hingga tergenang, konektor dengan seal mengeras, serta drainase yang kurang optimal turut mempercepat kerusakan komponen. Secara keseluruhan, faktor Material, Machine, dan Environment merupakan penyebab teknis paling dominan dari kegagalan sistem.

SARAN

Berdasarkan hasil analisis, diperlukan beberapa tindakan untuk peningkatan keandalan sistem yang disusun berdasarkan prioritas hasil USG dan pemeliharaan. Rekomendasi berikut bertujuan mengatasi akar masalah teknis sekaligus memperbaiki aspek prosedural dan lingkungan agar sistem taxiway edge light dapat berfungsi secara optimal. Rekomendasi yang dapat dilakukan ialah dengan melakukan reinstalasi sistem taxiway edge light secara menyeluruh, meliputi jaringan kabel, konektor, isolation transformer, dan CCR, serta perbaikan kondisi pit dan sistem drainase, melakukan penyusunan dan menerapkan SOP pemeliharaan sistem Airfield Ground Lighting (AGL) yang mengacu pada standar pemeliharaan dalam peraturan yang berlaku, dan Menerapkan sistem dokumentasi dan evaluasi pemeliharaan yang terstruktur guna menjaga keandalan sistem taxiway edge light secara berkelanjutan.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih sebesar-besarnya kepada seluruh pihak yang telah memberikan bimbingan dan dukungan baik secara moril dan materil serta motivasi dalam pelaksanaan dan penyusunan penelitian ini. Ucapan terima kasih disampaikan kepada pihak Bandar Udara Pangsuma Putussibau yang telah memberikan izin serta membantu dalam proses pengumpulan data di lapangan dengan tim peneliti dari Program Studi Teknik Listrik Bandar Udara, Politeknik Penerbangan Indonesia Curug, sehingga penelitian ini dapat terlaksana dengan baik dan menghasilkan temuan yang bermanfaat dan juga kepada para dosen Politeknik Penerbangan Indonesia Curug, berbagai sumber, dokumen, jurnal, dan literatur yang turut mendukung dalam penenelitian ini. Penulis juga menyampaikan apresiasi kepada para teknisi dan petugas yang telah memberikan informasi serta dukungan selama proses observasi dan wawancara. Semoga hasil penelitian ini dapat memberikan manfaat bagi pengembangan dan peningkatan keandalan sistem penerangan bandar udara.

DAFTAR PUSTAKA

- Corsi, S., Guerrini, N., & Lombarte, M. (2021). Diagnosis of isolation transformer failures in airfield lighting circuits. *IEEE Transactions on Industry Applications*, 57(6), 6453–6462.
- Desryanto, N., Sptra, M. A., Saputro, R., & Arnas, Y. (2024). ANALISIS PENYEBAB PENURUNAN TAHANAN ISOLASI RUNWAY EDGE LIGHT CIRCUIT 2 DENGAN METODE FAULT TREE ANALYSIS (FTA) DI BANDAR UDARA HUSEIN SASTRANEGARA BANDUNG. *Jurnal Review Pendidikan Dan Pengajaran*, 7.
- Direktorat Jenderal Perhubungan Udara. (2022). Peraturan Direktur Jenderal Perhubungan Udara Nomor PR 08 Tahun 2022 tentang Panduan Desain Aerodrome.
- Direktorat Jenderal Perhubungan Udara. (2023). Peraturan Direktur Jenderal Perhubungan Udara Nomor PR 21 Tahun 2023 tentang Manual of Standards (MOS) Part 139 Volume I – Aerodrome.
- Direktorat Jenderal Perhubungan Udara Kementerian Perhubungan Republik Indonesia. (2022). PR 26 TAHUN 2022 Pedoman Pemeliharaan Visual Aids dan Kelistrikan.
- Freschi, F., Mitolo, M., & Tommasini, R. (2015). Electrical Safety of Aeronautical Ground Lighting Systems. *IEEE Transactions on Industry Applications*, 51(3), 2003–2008. <https://doi.org/10.1109/TIA.2014.2365191>
- Honkanen, D., & Anderjon, S. (2016). Locating Faults on Energized Airfield Lighting Power Cables. ICAO. (2017). Doc 9157 Aerodrome Design Manual Part 5-Electrical Systems.
- International Civil Aviation Organization. (2021). Aerodrome Design Manual (Doc 9157), Part 4 – Visual Aids.
- International Civil Aviation Organization. (2022a). Annex 14 to the Convention on International Civil Aviation, Volume I: Aerodrome Design and Operations.
- International Civil Aviation Organization. (2022b). Doc 9137 Part 9 : Airport Services Manual.
- Ishikawa, K. (1986). *Guide to Quality Control* (2nd edition). Asian Productivity Organization.
- Lighting Research Group. (2020). Investigation of Filament Failures in Halogen Lamps. *Journal of Lighting Technology*, 67–73.
- Liu, Z. B., Wang, Q., Li, H., Wang, C. Y., & Fei, J. Y. (2022). Insulation Resistance Measurement of Airport Navigational Lighting System Based on Deep Learning and Transfer Learning. *Mathematical Problems in Engineering*, 2022. <https://doi.org/10.1155/2022/7754356>
- Situmeang, S., Tharo, Z., & Anisah, N. (2024). Analisis Sistem Constant Current Regulator pada Airfield Lighting System di Bandara. *INTECOM: Jurnal Inovasi Teknologi Dan Komputer*, (2), 45.
- Sugiyono. (2013). *METODE PENELITIAN KUALITATIF KUANTITATIF DAN R&D*. Alfabeta.

- UBS Airport System. (2018). Airfield Ground Lighting Systems. <https://www.scribd.com/document/634297807/UBS-Airfield-Ground-Lighting-Systems>
- Vidal, D., Monjo, L., & Sainz, L. (2016). Aeronautical ground lighting system study: Field measurements and simulations. *IET Generation, Transmission and Distribution*, 10(13), 3228–3233. <https://doi.org/10.1049/iet-gtd.2015.1536>
- Žáková, M., Novák, T., & Feige, M. (2023). Solution of problems with short lifetime of airfield halogen lamps. *International Journal of Aviation Technology*, 12(3), 221–230.