

RANCANG BANGUN *TRANSFORMATOR PIT* UNTUK *RUNWAY EDGE LIGHT*

Ahmad Al Baihaqi Husaini^{(1)*}, Hendro Widiarto⁽²⁾, Rubby Soebiantoro⁽³⁾

^{1,2,3}Politeknik Penerbangan Indonesia Curug

e-mail: albah.haqi03@gmail.com, hendro.widiarto@ppicurug.ac.id,
rubby605@gmail.com

Received :
27 Juli 2023

Revised :
30 November 2023

Accepted :
16 Oktober 2023

Abstrak: *AFL* memegang peran penting dalam keselamatan penerbangan di bandar udara. *Runway edge light* menjadi komponen utama *AFL* yang memandu pesawat saat lepas landas atau mendarat. Namun, beberapa bandar udara di Indonesia mengalami *runway edge light* padam karena kerusakan pada *series circuit*. Kerusakan ini disebabkan oleh gangguan dari air, debu, dan hewan pengerat yang tidak sepenuhnya dilindungi oleh *transformator pit*. Penelitian ini bertujuan untuk merancang dan menerapkan *transformator pit* baru sebagai solusi. Dengan metode *R&D* level tiga dan enam tahapan, *transformator pit* dibuat dari *stainless steel* 304 dengan ketebalan 2 mm berbentuk silinder dan dilengkapi pipa *HDPE* untuk mengamankan *series circuit* dari kerusakan. Uji kedap air dan fungsional dilakukan di laboratorium. Hasil menunjukkan *transformator pit* mampu melindungi komponen *series circuit*, mengoptimalkan tata letak instalasi, serta efisiensi perawatan dan perbaikan. Penelitian ini berpotensi memperkuat keandalan sistem *series circuit* *AFL* dan operasional penerbangan.

Kata Kunci: *AFL, runway edge light, series circuit, transformator pit*

Abstract: *The AFL has an important role in flight safety at airports. Runway edge light is the main component of AFL that guides aircraft during takeoff or landing. However, several airports in Indonesia have experienced runway edge light failures due to damage to the series circuit. This damage is caused by interference from water, dust, and rodents that are not fully protected by pit transformers. This research aims to design and implement a new pit transformer as a solution. Using a three-level and six-stage R&D method, the pit transformer is made of 304 stainless steel with a thickness of 2 mm in a cylindrical shape and equipped with HDPE pipes to secure the series circuit from damage. Waterproof and functional tests were conducted in the laboratory. The results show that the pit transformer is able to protect series circuit components, optimize installation layout, and improve maintenance and repair efficiency. This research has the potential to strengthen the reliability of AFL series circuit systems and flight operations.*

Keyword: *AFL, runway edge light, series circuit, transformator pit*

Pendahuluan

Bandar udara memiliki peranan penting dalam menyelenggarakan operasi penerbangan yang melibatkan pendaratan, lepas landas pesawat, serta pengangkutan penumpang dan kargo. Keselamatan penerbangan menjadi aspek utama dalam aktivitas bandar udara (ANNEX 14 - Aerodromes, 2016). Salah satu fasilitas penting dalam menjaga keselamatan tersebut adalah *Airfield Lighting System* (AFL). Termasuk di dalamnya terdapat *runway edge light* yang memberikan panduan visual kepada pesawat saat lepas landas dan mendarat (PR 8, 2022). Namun, di berbagai bandar udara Indonesia, terdapat *runway edge light* mengalami gangguan akibat kerusakan pada *series circuit*. Kendala ini disebabkan oleh sejumlah faktor, termasuk paparan air, debu, dan gangguan oleh hewan pengerat, terutama saat *transformator pit* tidak mampu memberikan perlindungan yang memadai.

Penelitian ini dilakukan dengan tujuan mengatasi masalah tersebut melalui perancangan dan implementasi *transformator pit* yang baru. Metode Penelitian dan Pengembangan *Research and Development* R&D tahap tiga dengan enam langkah digunakan untuk merancang *transformator pit* menggunakan bahan *stainless steel* 304 dan pipa *High Density Polyethylene* (HDPE) guna melindungi *series circuit* dari resiko kerusakan. Penelitian ini akan difokuskan melindungi komponen internal *transformator pit*, termasuk kabel primer, kabel sekunder, sambungan *primary connector kits*, *secondary connector kits*, dan *series transformer*. Melalui penelitian ini,

diharapkan dapat ditingkatkan keandalan sistem *series circuit* AFL, serta memudahkan proses perawatan dan perbaikan secara keseluruhan, sehingga memberikan layanan keselamatan penerbangan yang optimal di lingkungan bandar udara.

Airfield Lighting System (AFL)

Airfield Lighting System (AFL) merupakan fasilitas visual pemandu pesawat sebagai penunjang keselamatan penerbangan di bandar udara (Wijaya, 2019). AFL terdiri lampu-lampu khusus untuk menyampaikan informasi visual melalui konfigurasi, warna, cakupan, dan intensitas cahaya yang ditentukan (Salsabila, 2020). Fungsi utama AFL adalah memberikan rambu yang jelas dan mudah dipahami oleh pilot untuk mengambil keputusan yang tepat dalam manuver pesawat (Arifiansyah et al., 2022). Sistem AFL yang efektif dan efisien dapat mengurangi kesalahan dan mengoptimalkan kelancaran lalu lintas udara, mengurangi penundaan penerbangan (Law & Ariffin, 2020). AFL beroperasi terutama pada malam hari, cuaca buruk, dan permintaan pilot (PR 26, 2022), dengan tujuan memastikan kelancaran operasional penerbangan.

Runway edge light

Runway edge light merupakan komponen penting dalam AFL yang memiliki peran memberi tanda tepi landas pacu. Lampu ini ditempatkan secara sejajar dengan dua garis lurus pada tepi landas pacu dengan jarak yang konsisten (Advisory Circular No.: 150/5340-30J, 2018). *Runway edge light* menjadi fasilitas esensial untuk mencapai penerbangan sipil yang aman

(Ma et al., 2017). Pemasangan *runway edge light* memiliki manfaat dalam memperluas kemampuan operasional penerbangan terutama pada kondisi malam hari dan cuaca buruk (Chlebek, 2019). Intensitas pancaran cahaya dari *runway edge light* harus mematuhi standar ICAO dan spesifikasi teknis yang telah ditetapkan, dengan besaran intensitas cahaya yang tergolong sesuai dengan klasifikasinya.

Underground Electrical System

Underground Electrical System adalah penyaluran tenaga listrik menggunakan kabel dengan saluran bawah tanah. Keuntungan sistem ini adalah perlindungan kabel dari gangguan pohon, sambaran petir, dan manusia (Salim et al., 2016). *Underground Electrical System* pada AFL terdiri dari serangkaian kabel bawah tanah berisolasi tembaga. Kabel tersebut penyalur dari CCR untuk lumener melalui *transformator*, dengan arus rms yang dapat diatur (Vidal et al., 2016). Tempat menyimpan dan melindungi sambungan kabel dari lumener, *series transformator*, dan *primary circuit* adalah *transformator pit*. Terdapat beberapa macam *size transformator pit* yang disesuaikan dengan jumlah trafo atau *circuit* AFL yang terpasang (SKEP/114/VI, 2002).

Stainless steel 304

Stainless steel merupakan paduan baja yang mengandung minimal 11,5% Cr berdasarkan beratnya, memiliki ketahanan tahan karat yang unggul daripada baja biasa dalam lingkungan lembab (Santoso, 2019). Material memiliki fleksibilitas dan durabilitas

jangka panjang. Dari struktur kristalnya terbagi lima jenis, di antaranya *austenitic stainless steel* yang memiliki ketahanan korosi dan kemampuan pembentukan baik, contohnya seri SS 304 yang digunakan dalam industri kimia, makanan, dan farmasi (Novita et al., 2018). Selain itu, sifat tahan panas dan kekuatan menjadikannya pilihan ekonomis dalam pembuatan komponen mesin pabrik (M & Septiawan, 2018).

High Density Polyethylene (HDPE)

High Density Polyethylene (HDPE) merupakan sebuah jenis bahan plastik yang memiliki sifat lentur dan tahan dari tekanan. Material ini kerap digunakan secara luas sebagai bahan utama dalam pembuatan pipa. Pipa HDPE memiliki karakteristik warna khusus yaitu hitam (Rohmannudin et al., 2023). HDPE banyak digunakan dalam industri pipa, pengemasan, transmisi gas, sebagai lapisan pelindung untuk kabel dalam struktur konstruksi untuk mencegah korosi (Li & Qi, 2014).

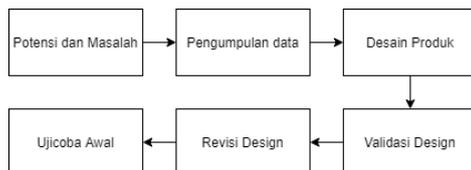
Cable gland

Cable gland adalah sebuah aksesoris yang digunakan dalam dunia kelistrikan untuk mengamankan dan melekatkan pada peralatan elektrik. *Cable gland* sebagai perangkat perapat untuk memastikan perlindungan peralatan dan selungkup listrik sesuai dengan *ingress protection* (CMP, n.d.)

Metode

Penelitian ini menggunakan metode *Research and Development* (R&D) (Sugiyono, 2020) dengan fokus pada pengembangan dan validasi produk *transformator pit*. Proses

melibatkan tahap perencanaan, desain, implementasi, uji coba, dan evaluasi sesuai dengan pendekatan R&D level tiga. Beberapa tahap R&D lebih lanjut tidak diterapkan dalam keterbatasan waktu penelitian ini.



Gambar 1. Tahap Metode

Metode Pengumpulan Data

Observasi Tidak Terstruktur

Observasi tidak terstruktur adalah pengamatan lapangan tanpa persiapan sistematis. Penulis mengamati kondisi lapangan dan menemukan *runway edge light* mati. Penyebab dari *runway edge light* mati juga ditemukan.

Studi Literatur

Mencari dan mengumpulkan informasi relevan serta mutakhir dari literatur. Studi literatur dilakukan untuk mengumpulkan data tentang kerusakan komponen *series circuit*.

Wawancara Semi Terstruktur

Wawancara secara mendalam dengan bertanya tentang kerusakan rangkaian seri dan mencatat proses wawancara. Tujuan wawancara adalah untuk menemukan penyebab masalah. Narasumber diminta memberikan inovasi sebagai solusi masalah.

Data Dokumen

Mengumpulkan dokumen analisis kerusakan dan perbaikan *series circuit*

pada *runway edge light*. Dokumen diperoleh dari Balai Teknik Penerbangan saat tugas di bandar udara. Pengumpulan dokumen ini dilakukan untuk mendapatkan data kerusakan komponen *series circuit*.

Diskusi

Gambaran Umum

Transformator pit berfungsi sebagai tempat untuk menempatkan series transformator yang terhubung dengan sambungan *primer connector* pada *primary circuit*, sambungan *secondary connector kits* pada *secondary circuit*, dan sistem grounding. Fokus penelitian ini adalah memperbaiki desain *transformator pit* yang ada dengan tujuan melindungi komponen di dalamnya, meningkatkan keandalan sistem *series circuit*, dan mencegah kerusakan. *Transformator pit* saat ini yang menggunakan desain dari SKEP/114/VI/2002 terbuat dari beton, namun tidak mampu menghadapi masalah masuknya air, debu, dan hewan pengerat yang mengakibatkan kerusakan pada sistem *series circuit*. Oleh karena itu, penelitian ini merancang *transformator pit* baru menggunakan *stainless steel 304* dan didukung pipa HDPE, sesuai dengan ukuran dan prosedur pemasangan yang diatur dalam SKEP/114/VI/2002, guna memastikan komponen di dalamnya terlindungi, serta mempermudah perawatan dan perbaikan.

Tahapan pembuatan

1. Potensi dan Masalah

Pengumpulan informasi tentang masalah *runway edge light* padam akibat rusaknya komponen

series circuit AFL di bandar udara. Ditemukan bahwa komponen *series circuit* rusak disebabkan air, debu, dan hewan pengerat masuk karena *transformator pit* yang tidak melindungi dengan baik (Civil Aviation Regulatory Commission, 2018) (Standar Nasional Indonesia, 2011) (Yu et al., 2019) (Thayoob et al., 2016)

2. Mengumpulkan Informasi

Menemukan kelemahan dari *transformator pit* yang sudah ada dan membuat rancangan *transformator pit* baru untuk mengevaluasi. Berikut tabel perbandingan *transformator pit* yang sudah ada dengan yang dirancang dan dibangun.

Tabel 1. Perbandingan tranformator pit lama dan baru

Aspek Perbandingan	<i>Transformator pit</i> Lama	<i>Transformator pit</i> Baru
Kekedapan	Rentan terhadap masuknya air, debu dan hewan pengerat karena memiliki lubang serta tidak rapat	Rancangan dilengkapi dengan komponen yang menjaga kerapatan pada lubang, supaya mampu menahan masuknya air, debu dan hewan pengerat. Dapat memberi perlindungan pada sambungan <i>primary</i> dan <i>secondary connector kit</i>
Kemudahan saat perawatan dan perbaikan	Sulit karena komponen di dalam tidak tertata rapi. Membutuhkan waktu lama untuk perbaikan apabila terdapat kabel rusak karena perlu menggali dan mengurug.	Dirancang memudahkan perawatan karena komponen di dalam tertata rapi. Waktu perbaikan kabel lebih cepat karena tanpa perlu menggali.
<i>Short circuit</i>	Rentan terhadap <i>short circuit</i> karena kabel FL2XCY satu salur dengan kabel <i>grounding</i> BC	Rancangan dilengkapi dengan pipa HDPE untuk perlindungan dan pemisah kabel FL2XCY untuk mencegah <i>short circuit</i>

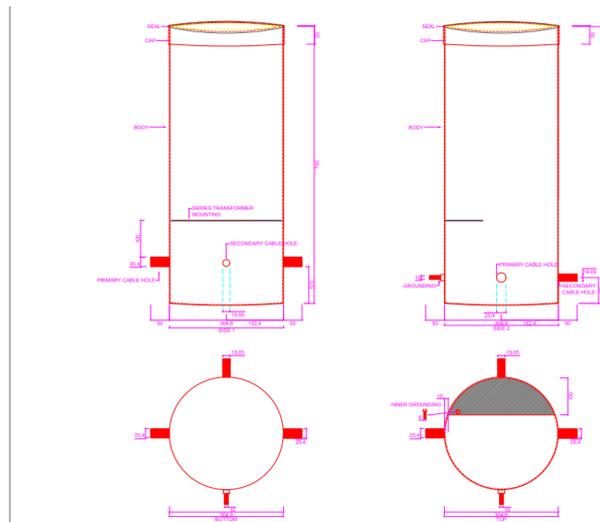
3. Desain Produk

Dengan mengkaji referensi terkait perancangan untuk memperoleh informasi terbaru, maka diperoleh spesifikasi desain sebagai berikut :

- a) Bentuk : Silinder
- b) Dimensi :
 Diameter : 304,8 mm
 Tinggi : 750 mm
- c) Bahan *transformator pit* (bodi, bibir, dan tutup) :
 plat *stainless steel* 304

- d) Bahan baut *grounding* :
stainless steel 304
- e) Bahan jalur kabel :
as stainless steel 304 yang dibubut
- f) Bahan mounting *series transformer* :
 plat *stainless steel* 304
- g) Bahan *seal* tutup:
 karet
- h) Sambungan antara *transformator pit* dengan pipa HDPE :
 female thread HDPE 1 inch dan 1/2 inch

Rancang Bangun *Transformer Pit Untuk Runway Edge Light*



Gambar 2. Desain *transformator pit* untuk *runway edge light* sebelum revisi

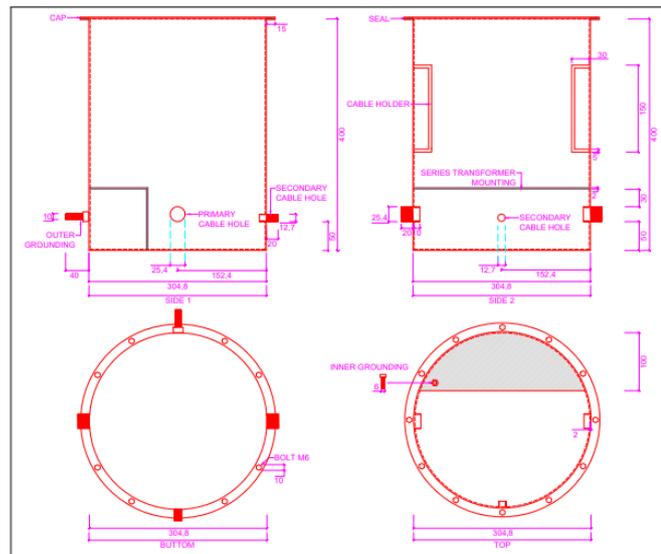
4. Validasi Desain

Desain *transformator pit* untuk *runway edge light* divalidasi oleh ahli dengan pengalaman dalam rancangan yang menjabat sebagai teknisi penerbangan penyelia, yaitu Bapak Iwan Husaini dan Bapak Edi Maknun Muktar. Validasi dilaksanakan melalui presentasi secara langsung pada 5 Mei 2023 di laboratorium Balai Teknik Penerbangan. Kegiatan ini menghasilkan evaluasi desain yang sesuai dengan kebutuhan bandar udara.

5. Revisi Desain

Dari diskusi dan penilaian Balai Teknik Penerbangan, teridentifikasi kelemahan desain. Sehingga diperoleh perubahan desain yang sesuai ukuran dan komponen berdasarkan saran ahli sebagai berikut:

- Dimensi:
Tinggi : 400 mm
- Tutup:
Menggunakan baut
- Ruang *transformator pit* dibuat rapat dengan menambahkan cable gland pada jalur kabel
- Mounting *series transformer*:
diberi penahan dan ditambahkan *cable holder*



Gambar 3. Desain transformator pit untuk runway edge light sesudah revisi

6. Pembuatan

Hasil pembuatan transformator pit melalui tahapan-tahapan yang telah dilakukan sebagai berikut :



Gambar 3. Transformator pit

7. Pengujian

1. Uji Kedap Air

Uji kedap air dilakukan di Laboratorium Teknik Mekanikal Dan Listrik Penerbangan (MLP) Balai Teknik Penerbangan pada tanggal 16 Juni 2023. Ahli yang dilibatkan sebagai penguji pada tahap ini adalah teknisi penerbangan penyelia dari instansi Balai Teknik Penerbangan, yaitu Bapak Drajat Agung Santoso dan Bapak Ridwan Haerulloh. Pengukuran kedap air ini berdasarkan pengamatan secara langsung oleh penguji untuk mengetahui apakah terdapat kebocoran. Berikut hasil uji kedap air :

Tabel 2. Hasil penilaian uji kedap air

No	Tahap Pengujian	Metode	Durasi	Hasil
1	Kondisi alat tanpa tutup	Direndam	60 menit	Direndam tanpa melewati ambang batas atas, keadaan muka sisi dalam tetap kering, tanpa ada rembesan air dari sisi yang terendam
2	Kondisi alat tertutup	Direndam	60 menit	Tidak terdapat rembesan pada bagian sambungan las, jalur kabel dan <i>seal</i> tutup
3	Kondisi alat tanpa tutup dan pipa HDPE	Direndam	60 menit	Air tidak masuk ke dalam <i>transformator pit</i> <i>Cable gland</i> dapat menjepit kabel dengan baik

2. Uji Fungsional

Uji fungsional dilaksanakan pada tanggal 21 Juli 2023. Pengujian fungsional dilakukan oleh dua dosen aktif dari program studi Teknik Listrik Bandara, yaitu Bapak Hendro Widiarto., S.Pd., S.SiT., M.M. dan

Bapak Rubby Soebiantoro., S.SiT., M.Pd.. Dalam proses pengujian, penguji mengamati fungsi dari masing-masing komponen *transformator pit* sehingga diperoleh hasil uji fungsional sebagai berikut:

Tabel 3. Hasil penilaian uji fungsional

No	Pernyataan	Keterangan
1	<i>Transformator pit</i>	– Dapat menjadi wadah yang bisa memproteksi sambungan dan <i>series transformer</i> dari air serta debu di <i>circuit runway edge light</i>
2	Jalur kabel	– Dilengkapi dengan pipa HDPE dan <i>cable gland</i> yang berfungsi mencegah masuknya air – Lebih tertata karena terdapat dua lubang jalur primer dan satu lubang jalur sekunder
3	<i>Cable Holder</i>	– Memudahkan dalam menata kabel primer dan sekunder – Kabel lebih rapi dan mudah diidentifikasi
4	<i>Cap</i>	– Terdapat <i>seal</i> yang membuat tutup menjadi rapat sehingga mencegah masuknya air dan debu – Untuk mempermudah akses <i>maintenance</i> disarankan untuk mengganti baut menjadi <i>clamp band</i> dengan tetap memperhatikan kerapatan
5	<i>Mounting</i>	– Berfungsi sebagai dudukan <i>series transformer</i> agar rapi dan mudah diletakan atau diangkat
6	<i>Grounding</i>	– Berfungsi sebagai proteksi dari kebocoran arus dan petir – Dengan menggunakan baut, instalasi <i>grounding</i> menjadi lebih rapi dan terhubung dengan baik – Pemisahan <i>grounding</i> dalam dan luar mampu mengurangi lubang pada <i>Transformator pit</i>
7	Bentuk	– Bentuk silinder digunakan agar pemanfaatan ruang lebih efektif dan meminimalisir sambungan
8	Dimensi	– Dimensi saat ini mampu digunakan untuk kapasitas satu <i>series transformer</i>

Berdasarkan hasil pengujian yang sudah dilaksanakan oleh ahli, maka diperoleh kesimpulan sebagai berikut :

Tabel 4. Kesimpulan hasil pembahasan dan pengujian

No	Item	<i>Transformator pit Lama</i>	<i>Transformator pit Baru</i>
1	Bahan	Semen Cor	<i>Stainless steel 304</i>
2	Dimensi	Berbentuk kotak dengan lebar: 600 mm dan tinggi : 550 mm	Berbentuk silinder dengan diameter : 304,8 mm dan tinggi : 400 mm
3	Jumlah <i>circuit</i> di dalam	Maksimal dua	Maksimal satu
4	Kekedapan	Kurang melindungi komponen di dalam dari air, debu dan hewan pengerat	Melindungi komponen di dalam dari air, debu dan hewan pengerat
5	Instalasi	Instansi tidak tertata 	Instalasi tertata 
6	Proteksi <i>Circuit</i>	Tidak terhubung pipa HDPE	Terhubung pipa HDPE
7	<i>Maintenance</i>	Identifikasi <i>circuit</i> dan proses perawatan lebih sulit	Identifikasi <i>circuit</i> dan proses perawatan lebih mudah
8	Metode Instalasi	Penggalian, pengurangan, dan penggunaan bata serta <i>compacted sand</i>	<i>Horizontal Directional Drilling</i> (HDD) dan pipa HDPE
9	Penggantian Kabel	Memerlukan penggalian dan pengurangan untuk mengganti kabel rusak	Tidak perlu penggalian dan pengurangan, cukup menarik kabel melalui pipa HDPE
10	Efisiensi biaya dan waktu	Kurang efisien akibat perlu penggalian, pengurangan, bata, serta <i>compacted sand</i>	Lebih efisien karena tidak perlu penggalian, pengurangan, bata, serta <i>compacted sand</i>

Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilaksanakan, dapat disimpulkan bahwa *transformator pit* menggunakan bahan *stainless steel 304* dengan ketebalan 2 mm dan berbentuk silinder. Pemanfaatan pipa High Density Polyethylene (HDPE) sebagai pendukung jalur kabel telah terbukti efektif dalam menjaga kekeadaannya. *Transformator pit* ini telah diuji dan berhasil diterapkan untuk *runway edge*

light, mampu menjaga komponen *series circuit* dari paparan air, debu, dan hewan pengerat.

Selain itu, *transformator pit* ini memiliki keunggulan lain, seperti instalasi yang teratur dan lebih efisien. Metode Horizontal Directional Drilling (HDD) digunakan untuk instalasi kabel tanpa perlu penggalian, pengurangan, atau bahan seperti bata dan pasir padat pada jalur kabel. Pipa HDPE pada jalur kabel memberikan perlindungan tambahan dan mempermudah proses perawatan.

Transformer pit ini bukan hanya sebagai solusi teknis yang efisien, tetapi juga memberikan keuntungan dalam hal penghematan biaya dan waktu untuk perbaikan serta pemeliharaan sistem *series circuit* AFL.

Saran

1. Pengujian lapangan lebih lanjut perlu dilakukan untuk mengapadami kekuatan *transformator pit* untuk *runway edge light* dengan diterapkan langsung pada bandar udara.
2. Diperlukan penelitian lebih lanjut guna meningkatkan desain supaya mengurangi tekukan pada instalasi kabel, pengembangan penutup yang lebih efisien dengan tetap menjaga kedapannya, serta diharapkan bisa diterapkan pada semua jenis *Airfield Lighting System* (AFL).
3. Perlu dilakukan penilaian langsung oleh pihak *International Electrotechnical Commission* (IEC) untuk klaim *Ingress Protection* (IP) *ratings*.
4. Perlu dilakukan pengembangan dan penelitian lebih lanjut untuk memperoleh bahan *transformator pit* yang lebih unggul.
5. Penelitian selanjutnya direkomendasikan untuk membandingkan kelebihan dan kekurangan antara penggunaan bahan beton dan *stainless steel* 304 sebagai bahan *transformator pit*. Fokus penelitian dapat berupa pengujian ketahanan terhadap lingkungan, *lifetime*, keamanan, dan kepatuhan terhadap regulasi.

Daftar Pustaka

- ANNEX 14 - Aerodromes, Pub. L. No. ANNEX 14 (2016).
- Arifiansyah, P. N., Fahroji, & Fatra, O. (2022). *Rancangan Pemasangan Taxi Guidance Sign Alpha Di Bandar Udara Komodo Labuan Bajo – Nusa Tenggara*. 221–229.
- Chlebek, J. (2019). *Runway Lighting Systems as A Key Tool to Extend Operational Capabilities Of VFR Airports*. *Transportation Research Procedia*, 43, 236–242. <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2019.12.038>
- Civil Aviation Regulatory Commission. (2018). *Airport Electrical System*.
- CMP. (n.d.). *Cable Glands And Accessories*. <http://brassfactory.co.uk/cable-gland-accessories/%5Ct>
- Law, M. S. A., & Ariffin, A. H. (2020). *A Review on the Aerodrome Standard in the Aviation Industry*. 2(2), 1–4.
- Li, S., & Qi, K. (2014). *The Mechanical and Fracture Property of HDPE-Experiment Result Combined with Simulation* [Blekinge Institute of Technology Karlskrona, Sweden]. <https://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:830762/FULLTEXT01.pdf>
- M, M., & Septiawan, R. (2018). Analisa Pengujian Lelah Material *Stainless Steel* 304 dengan Menggunakan Rotary Bending Fatigue Machine. *Jurnal Rekayasa Material, Manufaktur Dan Energi*, 1(1), 64–73. <https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/>
- Ma, X., Yang, J., Peng, J., & Li, L. (2017). Design of The Optical Structure of Airfield In-Pavement LED *Runway Edge Lights*. *Second International Conference on Photonics and Optical Engineering*, 10256, 1025602. <https://doi.org/10.1117/12.2268687>
- Novita, S., Ginting, E., & Astuti, W. (2018). Analisis Laju Korosi dan Kekerasan pada *Stainless Steel* 304 dan Baja Nikel Laterit dengan Variasi Kadar Ni (0, 3, Dan 10%) dalam Medium Korosif. *Jurnal Teori Dan Aplikasi Fisika*, 06(01), 21–32.

- PR 8, Pub. L. No. PR 8 TAHUN 2022 (2022).
- PR 26, Pub. L. No. PR 26 2022, Kementerian Perhubungan (2022).
- Rohmannudin, T. N., Sulistijono, Kurniawan, B. A., Noerochiem, L., & Kusuma, W. D. (2023). Pelayanan Pengujian Pipa HDPE untuk Aplikasi Saluran Air Bawah Tanah. *Jurnal Kemitraan Dan Pemberdayaan Masyarakat, III*(1), 74–79.
- Salim, A., Sultan, A. R., & Akmal, A. (2016). Analisis Perbandingan Sistem Saluran Kabel Udara Tegangan Menengah (SKUTM) dan Saluran Kabel Tanah Tegangan Menengah (SKTM). *Elektrika No. II/Tahun 13/Nopember 2016*, 195–212.
- Salsabila, N. I. (2020). Optimalisasi Fasilitas *Airfield Lighting System* Sebagai Penunjang Pelayanan Navigasi Dan Keselamatan Penerbangan Di Bandar Udara Tambolaka *Inspection) Peralatan Fasilitas Elektronika*. 1–9.
- Santoso, K. A. (2019). Analisa Pengaruh Laju Korosi Plat Baja ST 40 dan *Stainless Steel 304* Terhadap Larutan Asam Sulfat. *Majamecha, I*(1), 24–35. <https://doi.org/10.36815/majamecha.v1i1.365>
- SKEP/114/VI, Pub. L. No. SKEP/114/VI/2002 (2002). Standar Nasional Indonesia. (2011). Persyaratan Umum Instalasi Listrik 2011 (PUIL 2011). *DirJen Ketenagalistrikan, 2011*(PUIL), 1–133.
- Thayooob, Y. H. M., Visvanathan, Y. S., Ahmed, S. K., & Ghani, A. B. A. (2016). *Analysis and Characterization of Water Tree Condition in XLPE Cables from Dielectric Spectroscopy Measurement in Frequency Domain. IEEE 2015 International Conference on Signal and Image Processing Applications, ICSIPA 2015 - Proceedings*, 526–531. <https://doi.org/10.1109/ICSIPA.2015.7412247>
- 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>
- Wijaya, C. E. (2019). *Airfield Lighting System* pada Bandar Udara Sam Ratulangi Manado. *Student Paper (EE)*. <https://library.universitaspertamina.ac.id/xmlui/handle/123456789/163>
- Yu, Q., Li, X., Zhang, P., Yang, P., & Chen, Y. (2019). Properties of Water Tree Growing in XLPE and Composites. *ICEMPE 2019 - 2nd International Conference on Electrical Materials and Power Equipment, Proceedings*, 409–412. <https://doi.org/10.1109/ICEMPE.2019.8727376>