

Rancangan Reinstalasi Jaringan Distribusi Tegangan Menengah Gardu *Instrument Landing System* Bandara Halim Perdanakusuma

Oji Mai Firman¹ Zulina Kurniawati² Isnain Jodi Anggoro³

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

Email: ojimaifirman1805@gmail.com¹ zulina.kurniawati@ppicurug.ac.id²
isnainjanggoro@ppicurug.ac.id³

Abstrak

Sistem distribusi tegangan menengah pada Gardu *Instrument Landing System* (ILS) Bandar Udara Halim Perdanakusuma mengalami penurunan keandalan akibat transformator step-up 380 V/6 kV yang telah beroperasi sejak tahun 1973 dan mengalami kebocoran minyak isolasi, serta kerusakan pada jalur kabel *Power House–Glide Path* yang mengubah konfigurasi jaringan dari *loop* menjadi radial sehingga tidak memiliki jalur suplai cadangan. Kondisi tersebut berpotensi mengganggu kontinuitas suplai listrik pada peralatan navigasi penerbangan yang bersifat kritis. Penelitian ini bertujuan menghasilkan rancangan reinstalasi jaringan distribusi tegangan menengah 6 kV pada Gardu ILS untuk meningkatkan kontinuitas dan kinerja sistem. Metode penelitian menggunakan pendekatan *Research and Development* (R&D) Level 1 yang dipilih karena penelitian difokuskan pada tahap perancangan tanpa dilanjutkan pembuatan produk, melalui tahapan identifikasi masalah, pengumpulan data teknis, analisis sistem eksisting, perancangan transformator dan kabel, serta simulasi menggunakan ETAP 19.01 untuk memvalidasi kinerja rancangan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa transformator eksisting telah berumur 53 tahun dengan nilai *breakdown voltage* minyak sebesar 29,8 kV, berada di bawah standar minimum IEC 60156 sebesar 50 kV. Rancangan reinstalasi merekomendasikan transformator kering (*dry-type cast resin*) berkapasitas 315 kVA dan kabel N2XSEFGbY 3×35 mm² dengan konfigurasi jaringan *loop*. Hasil simulasi ETAP menunjukkan peningkatan profil tegangan pada seluruh bus serta pembebanan transformator sebesar 52,2%, yang masih berada dalam batas aman operasi. Rancangan ini dapat menjadi acuan teknis untuk meningkatkan kontinuitas dan keselamatan operasional sistem navigasi penerbangan, sehingga penelitian selanjutnya disarankan mencakup analisis koordinasi proteksi dan keandalan sistem secara lebih komprehensif.

Kata Kunci: Gardu ILS, Distribusi Tegangan Menengah, ETAP 19.01, Reinstalasi



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

PENDAHULUAN

Perkembangan operasional bandar udara menuntut ketersediaan sistem distribusi tenaga listrik yang andal, khususnya pada fasilitas navigasi penerbangan seperti *Instrument Landing System* (ILS) yang membantu pilot melakukan pendekatan dan pendaratan pada kondisi jarak pandang terbatas (Aishwarya, 2022). Komponen utama ILS, yaitu *Localizer* dan *Glide Path*, memerlukan suplai listrik yang stabil, kontinu, dan memiliki tingkat redundansi yang memadai sesuai ketentuan keselamatan penerbangan (Wicaksono et al., 2023); (Bukhari, 2024). Bandar Udara Halim Perdanakusuma memenuhi kebutuhan listriknya melalui jaringan tegangan menengah 20 kV dari tiga Gardu Induk PLN, dengan sebagian beban kritis seperti *Glide Path*, PKP-PK, dan *Localizer* masih disuplai melalui sistem distribusi tegangan menengah 6 kV pada Gardu ILS. Berdasarkan data peralatan, transformator *step-up* 380 V/6 kV pada gardu tersebut telah beroperasi sejak tahun 1973 (± 53 tahun) dan mengalami kebocoran minyak isolasi, sementara salah satu jalur kabel tegangan menengah dari *Power House* menuju *Glide Path* mengalami kerusakan sehingga konfigurasi jaringan berubah dari *loop* menjadi radial tanpa jalur suplai cadangan. Kondisi ini diperkuat dengan kejadian gangguan pada 13 Juni 2024

berupa penurunan tegangan pada fase R dan T di Gardu *Glide Path* akibat penurunan tahanan isolasi kabel.

Sejumlah penelitian terdahulu telah membahas upaya peningkatan keandalan sistem distribusi listrik pada fasilitas kritis. (Pangestu, 2023) menganalisis keandalan sistem distribusi pada area *airside* dan menunjukkan bahwa penerapan konfigurasi loop atau dual feeder mampu meningkatkan kontinuitas suplai listrik. (Azzam et al., 2024) mengkaji pengaruh kondisi jaringan tegangan menengah terhadap keandalan sistem melalui indeks SAIDI dan SAIFI, dan menemukan bahwa degradasi kabel serta peralatan yang telah melewati umur teknis meningkatkan frekuensi dan durasi gangguan. (Tarbiyatun et al., 2022) melakukan condition assessment pada transformator melalui pengujian kualitas minyak dan isolasi, dan menyimpulkan bahwa usia serta kondisi isolasi berkorelasi kuat terhadap potensi kegagalan operasi. Namun, penelitian-penelitian tersebut umumnya masih bersifat evaluatif terhadap satu komponen sistem dan belum mengintegrasikan pemilihan transformator, pemilihan kabel, perhitungan jatuh tegangan, serta pengembalian konfigurasi jaringan menjadi *loop* dalam satu kajian perancangan yang utuh, sebagaimana dirangkum pada Tabel 1.

Kesenjangan tersebut menunjukkan perlunya kajian perancangan yang bersifat aplikatif dan terintegrasi, tidak hanya mengevaluasi kondisi eksisting tetapi juga menghasilkan solusi teknis berupa dokumen rancangan. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan menyusun rancangan reinstalasi jaringan distribusi tegangan menengah pada Gardu ILS Bandar Udara Halim Perdanakusuma, mencakup pemilihan transformator, pemilihan dan pembaruan kabel, perhitungan jatuh tegangan, serta pengembalian konfigurasi jaringan dari radial menjadi loop, dan mengetahui kinerja teknis sistem pasca-reinstalasi melalui simulasi ETAP 19.01.

Penelitian Terdahulu yang Relevan

No	Penulis/ Tahun	Judul	Tujuan	Metode	Hasil	Kontribusi dan Relevansi
1	Pangestu (2023)	Analisis Keandalan Sistem Distribusi Jaringan SUTM	Menganalisis keandalan sistem distribusi listrik area <i>airside</i>	Analisis keandalan, perbandingan konfigurasi radial-loop	Redundansi (dual feeder/loop) meningkatkan kontinuitas suplai	Dasar pertimbangan konfigurasi loop; belum sampai tahap perancangan penggantian peralatan
2	Azzam dkk. (2024)	Jaringan Distribusi 20 kV PT PLN (Persero) UP3 Metro Menggunakan Metode RNEA	Menganalisis pengaruh kondisi jaringan TM terhadap keandalan sistem	Indeks keandalan SAIDI/SAIFI, evaluasi data historis gangguan	Degradasi kabel/peralatan meningkatkan frekuensi dan durasi gangguan	Memperkuat urgensi penggantian peralatan berumur tua; tidak menghasilkan dokumen rancangan teknis
3	Tarbiyatun dkk. (2022)	Transformer Oil Quality Monitoring Towards Degradation of Insulation Breakdown Voltage	Menganalisis kondisi transformator sebagai komponen kritis	Condition assessment (uji minyak, isolasi, umur pakai)	Usia, isolasi, dan kualitas minyak berkorelasi kuat terhadap potensi kegagalan	Dasar evaluasi kelayakan transformator eksisting pada penelitian ini
4	(Pramono et al., 2018)	Analisis Drop Tegangan pada Jaringan Tegangan Menengah	Menganalisis besarnya jatuh tegangan pada jaringan TM	Perhitungan analitis jatuh tegangan	Panjang kabel dan luas penampang memengaruhi besar jatuh tegangan	Mendukung metode perhitungan jatuh tegangan kabel rancangan penelitian ini

5	(Hasibuan et al., 2020)	Analisa Aliran Daya pada Sistem Tenaga Listrik dengan Metode Fast Decoupled Menggunakan Software ETAP	Menganalisis aliran daya sistem tenaga listrik menggunakan ETAP	Simulasi load flow metode Fast Decoupled pada ETAP	Diperoleh profil tegangan dan pembebanan sistem melalui simulasi ETAP	Acuan metode simulasi load flow ETAP pada evaluasi sistem eksisting dan rancangan penelitian ini
---	-------------------------	---	---	--	---	--

METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan metode *Research and Development* (R&D) pada level satu, yaitu penelitian yang berfokus pada tahap perancangan tanpa dilanjutkan dengan pembuatan produk maupun pengujian (Sugiyono, 2020). Perancangan disusun berdasarkan kondisi peralatan eksisting dengan mengacu pada standar nasional dan internasional yang berlaku, melalui enam tahapan hingga diperoleh desain tervalidasi berupa dokumen *Detail Engineering Design* (DED). Penelitian dilaksanakan di Bandar Udara Internasional Halim Perdanakusuma pada bulan Januari–Agustus 2026, meliputi tahap identifikasi masalah, pengumpulan data, analisis dan perancangan, hingga penyusunan laporan.

Pengumpulan data dilakukan melalui tiga teknik. Studi literatur dilakukan terhadap jurnal ilmiah, buku, standar teknis, dan peraturan yang relevan sebagai dasar penentuan parameter dan kriteria perancangan. Observasi dilakukan secara langsung di Gardu *Power House* Lama terhadap kondisi fisik transformator, data kapasitas terpasang, kondisi kabel tegangan menengah, serta single line diagram eksisting. Wawancara dilakukan secara informal tanpa pedoman terstruktur kepada satu narasumber, yaitu *Electrical & Mechanical Facility Supervisor* Bandar Udara Halim Perdanakusuma, guna memperoleh informasi mengenai kondisi teknis terkini dan riwayat gangguan sistem. Data yang diperoleh selanjutnya dianalisis melalui tahapan analisis sistem eksisting yang meliputi pembebanan transformator, kemampuan hantar arus kabel, dan jatuh tegangan; perancangan sistem distribusi tegangan menengah; pemodelan sistem eksisting dan sistem rancangan menggunakan perangkat lunak ETAP 19.01; serta perbandingan hasil *load flow* kedua sistem. Rancangan yang dihasilkan selanjutnya divalidasi melalui presentasi kepada dosen pembimbing dan supervisor kelistrikan bandara sebelum dinyatakan sebagai desain tervalidasi.

HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

Hasil Penelitian

Penelitian ini dilakukan di Gardu *Instrument Landing System* (ILS) Bandar Udara Halim Perdanakusuma. Hasil pengolahan data observasi dan dokumentasi menunjukkan bahwa transformator *step-up* eksisting berkapasitas 500 kVA dengan tegangan 380 V/6 kV telah beroperasi sejak tahun 1973, sehingga umur operasinya mencapai 53 tahun dan telah melampaui umur teknis transformator distribusi sebesar 20–25 tahun sesuai IEC 60076. Total beban terpasang pada sistem sebesar 175 kVA yang berasal dari Gardu *Glide Path* (50 kVA), PKP-PK (100 kVA), dan *Localizer* (25 kVA), sehingga tingkat pembebanan transformator eksisting hanya sebesar 35%. Meskipun pembebanan tergolong rendah, hasil pengujian *breakdown voltage* (BDV) menunjukkan kualitas minyak isolasi sebelum treatment sebesar 29,8 kV, berada di bawah standar minimum IEC 60156 dan IEC 60296-1 sebesar 50 kV, yang mengindikasikan kontaminasi moisture dan penurunan kemampuan dielektrik minyak. Ringkasan hasil analisis transformator eksisting disajikan pada Tabel 2.

Tabel 2. Kesimpulan Analisis Transformator Eksisting

Parameter	Ideal	Kondisi	Status
Loading	< 80%	35%	Baik
Umur	20–25 th	53 tahun	Tidak Baik
BDV	> 75 kV	29,8 kV	Tidak Baik

Kebocoran minyak	Tidak ada	Ada	Tidak Baik
Sparepart	Ada	Tidak tersedia	Tidak Baik



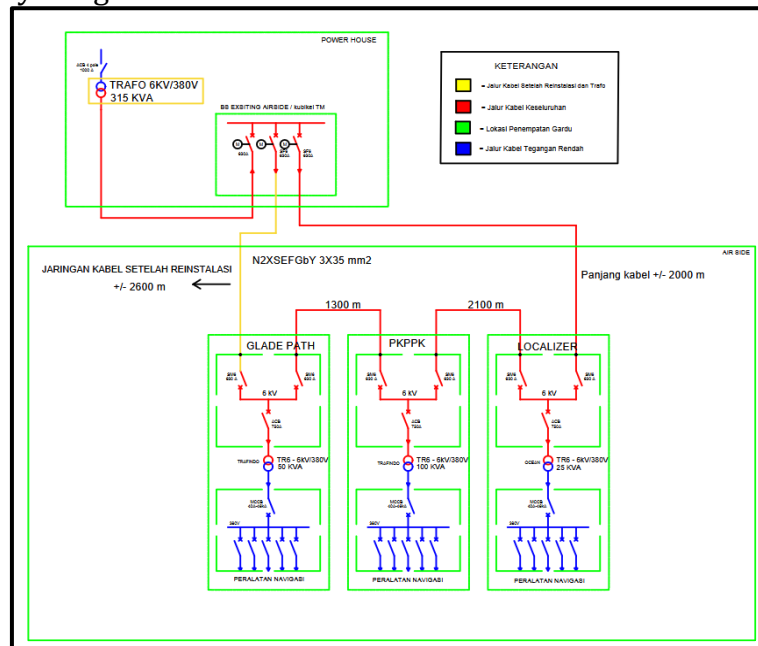
Gambar 1. Kondisi Fisik Transformator Eksisting Gardu ILS
(Sumber: Dokumentasi Penulis, 2026)

Kabel tegangan menengah eksisting pada jalur *Power House-Glide Path* menggunakan jenis PILC (*Paper Insulated Lead Covered*) berukuran $3 \times 25 \text{ mm}^2$ sepanjang 2.600 m. Hasil pengujian tahanan isolasi menunjukkan nilai di bawah standar minimum PUIL 2020 ($<1 \text{ M}\Omega/\text{kV}$) akibat usia kabel dan kelembapan tanah, sehingga jalur tersebut dinonaktifkan dan konfigurasi jaringan berubah dari loop menjadi radial (*single feeder*) tanpa jalur suplai cadangan. Berdasarkan hasil analisis tersebut, perancangan transformator baru menggunakan faktor pertumbuhan beban sebesar 20% dan batas pembebanan maksimum 80%, sehingga diperoleh kebutuhan kapasitas minimum sebesar 262,5 kVA. Sesuai ketersediaan rating standar pabrikan, dipilih transformator *step-up* tipe kering (*dry-type cast resin*) berkapasitas 315 kVA yang mengacu pada standar IEC 60076-11 (INTERNATIONAL STANDARD IEC 60076-11, 2018), dengan pertimbangan risiko kebakaran yang lebih rendah dan kemudahan pemeliharaan dibandingkan transformator berisolasi minyak. Arus nominal pada sisi tegangan menengah transformator rancangan sebesar 30,31 A, sehingga kebutuhan kuat hantar arus (KHA) minimum kabel sebesar 37,88 A sesuai ketentuan PUIL 2020 (125% arus nominal). Berdasarkan data teknis pabrikan, dipilih kabel N2XSEFGbY $3 \times 35 \text{ mm}^2$ dengan KHA kontinu 154 A untuk pemasangan langsung dalam tanah, yang jauh melebihi kebutuhan minimum sekaligus memberikan margin terhadap pertumbuhan beban (Zainal et al., 2025). Hasil perhitungan jatuh tegangan pada panjang kabel rancangan 2.860 m (termasuk *allowance* 10%) diperoleh sebesar 118,77 Volt atau 1,97%, yang berada di bawah batas maksimum 5% sesuai PUIL 2020, sehingga ukuran kabel dinyatakan aman digunakan. Spesifikasi transformator dan kabel hasil rancangan disajikan pada Tabel 3.

Tabel 3. Spesifikasi Transformator dan Kabel Rancangan

Parameter	Spesifikasi Rancangan
Kapasitas transformator	315 kVA
Tipe transformator	Dry-Type / Cast Resin Transformer
Tegangan nominal (primer/sekunder)	380 V / 6.000 V (6 kV)
Standar transformator	IEC 60076-11
Jenis/tipe kabel	N2XSEFGbY (XLPE / Pita Tembaga / Armour Baja / PVC)
Konfigurasi/penampang kabel	3-Core / $3 \times 35 \text{ mm}^2$
Kemampuan hantar arus (KHA)	154 A (direct buried)
Jatuh tegangan hasil perhitungan	1,97% (batas maksimum PUIL 2020: 5%)

Konfigurasi jaringan hasil rancangan dikembalikan menjadi sistem loop sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 2, sehingga tersedia jalur suplai alternatif apabila terjadi gangguan pada salah satu penyulang.

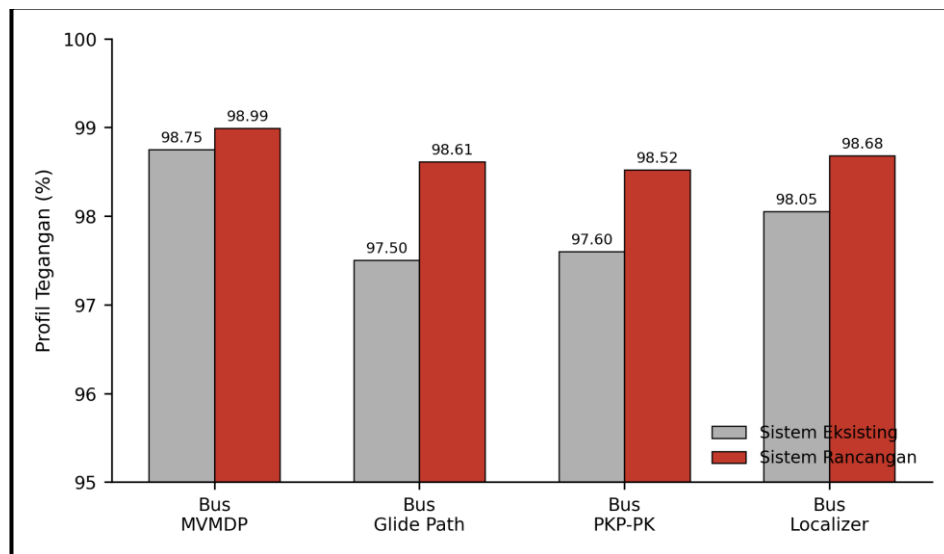


Gambar 2. Konfigurasi Jaringan Hasil Rancangan (Sistem Loop)
(Sumber: Penulis, 2026)

Simulasi *load flow* menggunakan ETAP 19.01 pada sistem eksisting menunjukkan bahwa transformator *step-up* memiliki pembebanan sebesar 32,9% dengan profil tegangan pada Bus MVMDP 98,75%, Bus *Glide Path* 97,50%, Bus PKP-PK 97,60%, dan Bus *Localizer* 98,05%, tanpa jalur suplai alternatif akibat konfigurasi radial. Setelah dilakukan rancangan reinstalasi berupa penggantian transformator, penggantian kabel, dan pengembalian konfigurasi loop, hasil simulasi menunjukkan peningkatan profil tegangan pada seluruh bus, yaitu Bus MVMDP 98,99%, Bus *Glide Path* 98,61%, Bus PKP-PK 98,52%, dan Bus *Localizer* 98,68%, dengan pembebanan transformator meningkat menjadi 52,2% namun masih berada di bawah batas operasi 80%. Perbandingan hasil *load flow* sistem eksisting dan rancangan secara lengkap disajikan pada Tabel 4 dan Gambar 3.

Tabel 4. Perbandingan Hasil Load Flow Sistem Eksisting dan Rancangan

Parameter	Sistem Eksisting	Sistem Rancangan	Keterangan
Konfigurasi jaringan	Radial	Loop (ring)	Jalur suplai 1 → 2 jalur
Transformator step-up	500 kVA, tipe basah	315 kVA, tipe kering	Kapasitas turun 20%, disesuaikan beban
Kabel menuju <i>Glide Path</i>	PILC 3×25 mm ²	N2XSEFGbY 3×35 mm ²	Perubahan jenis kabel
Loading transformator	32,9%	52,2%	Masih di bawah batas operasi (80%)
Tegangan Bus MVMDP	98,75%	98,99%	Meningkat
Tegangan Bus <i>Glide Path</i>	97,50%	98,61%	Meningkat
Tegangan Bus PKP-PK	97,60%	98,52%	Meningkat
Tegangan Bus <i>Localizer</i>	98,05%	98,68%	Meningkat
Kontinuitas suplai	Tanpa jalur cadangan	Memiliki jalur cadangan	Kontinuitas meningkat



Gambar 3. Grafik Perbandingan Profil Tegangan Sistem Eksisting dan Rancangan

Pembahasan

Data hasil pengukuran dan simulasi yang disajikan pada Tabel 2 dan Tabel 4 merupakan data yang telah diolah, bukan data mentah, sehingga memberikan informasi yang mudah dipahami mengenai kondisi sistem sebelum dan sesudah rancangan reinstalasi. Perbandingan tersebut menunjukkan bahwa perbaikan pada sisi peralatan (transformator dan kabel) serta konfigurasi jaringan secara konsisten meningkatkan profil tegangan pada seluruh bus tanpa melampaui batas pembebanan transformator yang diizinkan. Peningkatan tersebut berkaitan erat dengan konsep dasar keandalan sistem distribusi tenaga listrik, yaitu bahwa kualitas isolasi, usia peralatan, dan konfigurasi jaringan memengaruhi kontinuitas suplai. Nilai BDV sebesar 29,8 kV yang berada jauh di bawah standar IEC 60156 mengonfirmasi bahwa transformator eksisting telah mengalami penurunan kemampuan isolasi seiring bertambahnya usia, sejalan dengan temuan Tarbiyatun et al. (2022) bahwa usia dan kondisi isolasi berkorelasi kuat terhadap potensi kegagalan operasi transformator. Demikian pula, penurunan performa akibat degradasi kabel yang telah melampaui umur teknis sejalan dengan hasil Azzam et al. (2024) yang menunjukkan bahwa degradasi peralatan meningkatkan frekuensi dan durasi gangguan pada jaringan tegangan menengah.

Hasil penelitian ini juga sejalan dengan temuan Pangestu (2023) bahwa penerapan konfigurasi *loop* mampu meningkatkan kontinuitas suplai listrik melalui ketersediaan jalur alternatif. Namun, berbeda dengan penelitian-penelitian terdahulu yang umumnya bersifat evaluatif pada satu komponen sistem, penelitian ini menghasilkan rancangan teknis yang terintegrasi, mencakup pemilihan transformator, pemilihan kabel, perhitungan jatuh tegangan, dan pengembalian konfigurasi jaringan, sekaligus menghasilkan dokumen pendukung berupa *Detail Engineering Design* (DED), *Bill of Quantity* (BoQ), dan Rencana Kerja dan Syarat (RKS) sebagai kebaruan penelitian ini dibandingkan penelitian sebelumnya.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil perancangan reinstalasi jaringan distribusi tegangan menengah pada Gardu *Instrument Landing System* (ILS) Bandar Udara Halim Perdanakusuma, diperoleh rekomendasi transformator step-up 380 V/6 kV tipe kering (*dry-type cast resin*) berkapasitas 315 kVA dan kabel tegangan menengah N2XSEFGbY 3×35 mm² pada jalur *Power House-Glide Path*, yang dipilih berdasarkan analisis kebutuhan beban, kemampuan hantar arus, dan jatuh tegangan sebesar 1,97% sehingga memenuhi standar teknis yang berlaku. Hasil simulasi ETAP

19.01 menunjukkan bahwa rancangan reinstalasi meningkatkan profil tegangan pada seluruh bus dengan pembebanan transformator sebesar 52,2%, serta mengembalikan konfigurasi jaringan menjadi loop sehingga tersedia jalur suplai alternatif yang meningkatkan kontinuitas suplai listrik untuk mendukung operasional *Instrument Landing System* secara optimal. Penelitian ini masih terbatas pada analisis load flow dan belum mencakup analisis koordinasi proteksi, hubung singkat, keandalan sistem, maupun kualitas daya, sehingga penelitian selanjutnya disarankan mengembangkan analisis tersebut agar diperoleh evaluasi sistem distribusi yang lebih komprehensif. Ucapan terima kasih disampaikan kepada Politeknik Penerbangan Indonesia Curug, dosen pembimbing Zulina Kurniawati dan Isnain Jodi Anggoro, serta pihak Bandar Udara Halim Perdanakusuma atas dukungan data dan fasilitas selama penelitian ini dilaksanakan.

DAFTAR PUSTAKA

- Aishwarya, C. (2022). *The Instrument Landing System (ILS) - A Review*. 3(03), 1–6.
- Azzam, A., Gusmedi, H., & Huda, Z. (2024). *Jaringan Distribusi 20kv Pt Pln (Persero) Up3 Metro Menggunakan Metode Reliability Network Equivalent Approach (Rnea)*. 12(1).
- Bukhari, W. (2024). *Analisis Sistem Back-Up Daya Airfield Lighting System Pada Substation T1 Bandara Sams*. 6, 25–31.
- Hasibuan, A., Isa, M., Yusoff, M. I., Rafidah, S., & Rahim, A. (2020). *Analisa Aliran Daya Pada Sistem Tenaga Listrik Dengan Metode Fast Decoupled Menggunakan Software Etap*. 3(1).
- International Standard Iec 60076-11 (2018).
- Pangestu, A. B. (2023). *Analisis Keandalan Sistem Distribusi Jaringan Sutm Di Pt*. 14(1), 1–20.
- Pramono, T. J., Soewono, S., & Elektro, T. (2018). *Analisis Drop Tegangan Pada Jaringan Tegangan Menengah*.
- Sugiyono. (2020). *Metodologi Penelitian Kuantitatif, Kualitatif dan R & D*. ALFABETA.
- Tarbiyatun, L., Maleiva, N., Ningsih, M. M., & Kusumawardhani, E. (2022). *Transformer Oil Quality Monitoring Towards Degradation of Insulation Breakdown Voltage*. 18(3), 172–176.
- Wicaksono, A. W., Setiawan, R., & Sulaiman, A. (2023). *Does Indonesia need water aerodromes ? A systematic Study*. 0105, 1–13.
- Zainal, A., Ariyaka, S., Fikri, M., & Nurcholid, A. (2025). *Studi Perencanaan Pemasangan RWCL di Bandara Internasional Jenderal Ahmad Yani - Semarang Study on the Installation of RWCL at Jenderal Ahmad Yani International Airport - Semarang*. 4(2), 1–12.