

Analisis Keandalan Jaringan Listrik Substasiun Pantai Kelan Bandara I Gusti Ngurah Rai

Luhung Mohammad Nur¹ I Wayan Juliarta² Edy Kurniawan³

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

Email: luhungmnur19@gmail.com¹ juliarta71@gmail.com² edysiregar80@gmail.com³

Abstrak

Substasiun Pantai Kelan merupakan salah satu titik distribusi energi listrik vital di Bandar Udara Internasional I Gusti Ngurah Rai Bali yang menyuplai fasilitas keselamatan penerbangan, antara lain Instrument Landing System (ILS), DVOR, peralatan BMKG, gedung Launching Path ARFF, Pos Jaga Avsec, dan penerangan perimeter. Lokasi instalasi yang berbatasan langsung dengan garis pantai menyebabkan peralatan kelistrikan beroperasi di bawah pengaruh lingkungan maritim yang ekstrem, ditandai dengan kelembapan udara yang tinggi serta terpaan aerosol garam laut. Kondisi eksisting menunjukkan adanya degradasi fisik berupa korosi pada panel kubikel tegangan menengah (TM) 20 kV, timbulnya suara mendesis (hissing), serta indikasi fenomena korona (partial discharge) dan potensi flashover. Penelitian ini dilakukan karena pentingnya kontinuitas pasokan daya listrik navigasi dan perlunya mengetahui mekanisme kegagalan isolasi secara komprehensif. Tujuan penelitian adalah mengidentifikasi kondisi eksisting jaringan listrik, menganalisis faktor penyebab korosi dan degradasi isolasi, serta merumuskan jalur kegagalan sistem guna meningkatkan keandalan suplai kelistrikan. Metode penelitian yang digunakan adalah Fault Tree Analysis (FTA) dengan pendekatan top-down yang dipadukan dengan observasi visual lapangan, wawancara teknis, dan dokumentasi riwayat pemeliharaan. Metode ini dipilih karena mampu menguraikan kegagalan sistemik dari kejadian puncak (top event) hingga akar penyebab dasar (basic event) secara terstruktur melalui gerbang logika. Hasil analisis FTA menetapkan Top Event berupa terjadinya gangguan pada kubikel tegangan menengah yang terbagi ke dalam tiga Intermediate Event utama, yaitu korosi komponen, korona, dan flashover. Temuan penelitian membuktikan bahwa kelembapan relatif yang tinggi dan keberadaan deposit garam dari atmosfer laut merupakan basic event dominan yang memicu penurunan resistansi isolasi permukaan serta mempercepat proses korosi elektrokimia. Upaya peningkatan keandalan yang direkomendasikan mencakup pemasangan dehumidifier dan peningkatan kedekatan ruang kubikel dalam jangka pendek, penerapan Condition-Based Maintenance (CBM) dalam jangka menengah, serta opsi relokasi substasiun ke area yang lebih terlindung dari paparan langsung pesisir pantai sebagai solusi jangka panjang.

Kata Kunci: Atmosfer Laut, Fault Tree Analysis (FTA), Keandalan Jaringan Listrik, Kelembapan Udara, Korosi, Kubikel Tegangan Menengah



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

PENDAHULUAN

Bandar Udara Internasional I Gusti Ngurah Rai Bali merupakan simpul transportasi udara strategis yang melayani rute domestik dan internasional secara kontinu selama 24 jam. Keberlangsungan pelayanan penerbangan sangat bergantung pada keandalan sistem kelistrikan karena fasilitas vital navigasi udara—seperti Instrument Landing System (ILS), Doppler Very High Frequency Omni-directional Range (DVOR), peralatan meteorologi BMKG, gedung Launching Path Airport Rescue and Fire Fighting (ARFF), pos pengamanan Aviation Security (Avsec), serta penerangan perimeter—memerlukan pasokan daya listrik yang stabil dan kontinu. Salah satu titik distribusi kritis yang menyuplai beban-beban tersebut adalah Substasiun Pantai Kelan. Karakteristik khusus dari substasiun ini adalah letaknya yang berbatasan langsung dengan garis Pantai Kelan, sehingga seluruh instalasi kelistrikan di

dalamnya berada di bawah terpaan lingkungan maritim ekstrem dengan kelembapan udara tinggi dan paparan aerosol garam laut.

Lingkungan pesisir pantai memiliki potensi degradasi peralatan listrik yang jauh lebih tinggi dibandingkan area daratan pedalaman. Penelitian terdahulu menunjukkan bahwa kombinasi kadar garam tinggi di udara dan kelembapan relatif yang tinggi mempercepat laju korosi pada peralatan distribusi listrik (Putra et al., 2025). Kontaminasi kabut garam pada permukaan isolator terbukti memicu peningkatan arus bocor permukaan secara drastis (Prasetya & Arifin, 2022). Selain itu, kelembapan ruang kubikel yang melebihi batas toleransi berkontribusi langsung terhadap fenomena korona atau pelepasan sebagian (partial discharge) dan rugi-rugi daya pada kubikel 20 kV (Suharsono & Purwanto, 2022). Akumulasi polutan garam (NaCl) yang disertai uap air juga memicu terjadinya arcing discharge yang berujung pada kegagalan dielektrik isolasi (Alam et al., 2024). Dalam evaluasi keandalan sistem tenaga listrik dan peralatan gardu, metode Fault Tree Analysis (FTA) telah teruji secara efektif dalam mengidentifikasi jalur kegagalan dari kejadian puncak hingga faktor akar penyebabnya (Wibowo & Nugroho, 2023; Ramadhan & Hidayat, 2023).

Meskipun berbagai penelitian telah menelaah degradasi komponen isolasi dan penerapan metode FTA pada instalasi gardu distribusi, sebagian besar studi sebelumnya terbatas pada pengujian material di laboratorium dengan kabut garam buatan atau instalasi kubikel di gardu induk daratan yang tidak terpapar langsung dinamika aerosol pesisir tropis. Terdapat kesenjangan penelitian (research gap) dalam mengevaluasi kubikel tegangan menengah 20 kV terpasang yang beroperasi di tepi pantai bandar udara dengan beban keselamatan penerbangan riil. Kebaruan (novelty) dari penelitian ini terletak pada analisis komprehensif interaksi multi-stres lingkungan pesisir (kelembapan relatif ekstrem dan akumulasi garam laut) terhadap degradasi fisik korosi, fenomena korona, dan risiko flashover kubikel TM 20 kV dengan memadukan data logbook riwayat gangguan faktual dan pemodelan jalur kegagalan FTA terstruktur untuk merumuskan roadmap peningkatan keandalan bertingkat. Tujuan penelitian ini adalah: (1) mengidentifikasi kondisi eksisting fisik jaringan dan kubikel tegangan menengah pada Substasiun Pantai Kelan beserta karakteristik lingkungan instalasinya; (2) menganalisis pengaruh kelembapan tinggi dan atmosfer laut terhadap mekanisme timbulnya korosi, korona, dan flashover; serta (3) memetakan jalur penyebab gangguan menggunakan metode Fault Tree Analysis (FTA) guna menyusun rekomendasi teknis peningkatan keandalan sistem kelistrikan secara bertahap.

Tabel 1. Penelitian Terdahulu yang Relevan

No	Penulis/ Tahun	Judul	Tujuan	Metode	Hasil	Kontribusi dan Relevansi
1	Prasetya & Arifin (2022)	Pengaruh Deposit Garam & Kelembapan terhadap Arus Bocor Isolator 20 kV	Menganalisis pengaruh kabut garam pada isolator polimer 20 kV	Eksperimen uji kabut garam laboratorium	Deposit garam meningkatkan konduktivitas permukaan dan arus bocor secara signifikan	Landasan teoritis pengaruh deposit aerosol garam terhadap isolasi
2	Wibowo & Nugroho (2023)	Analisis Jalur Kegagalan Komponen Kubikel 20 kV dengan FTA	Mengidentifikasi potensi kegagalan kubikel 20 kV di gardu distribusi	Fault Tree Analysis (FTA) & FMEA	Menemukan mode kegagalan kritis komponen sakelar dan isolator	Rujukan metodologi dekomposisi top- down FTA pada kubikel 20 kV
3	Suharsono & Purwanto (2022)	Analisis Efek Korona pada Kubikel Riser 20 kV di GI Cikupa	Mengetahui relasi kelembapan tinggi dengan fenomena korona kubikel	Kuantitatif pengukuran lapangan	Kelembapan relatif 84% memicu tegangan korona 3,73 kV dan rugi daya 4,1 kW	Bukti empiris bahwa kelembapan tinggi memicu suara desis dan korona
4	Alam et al. (2024)	Pengaruh Akumulasi Polutan Garam dan Kelembapan terhadap Arcing Discharge	Menganalisis arcing discharge akibat polutan pesisir pada isolator	Pengujian eksperimental dan analisis FTIR	Polutan NaCl + kelembapan membentuk jalur elektrolit pemicu flashover	Dasar analisis kimia deposit garam laut terhadap degradasi isolator



5	Putra et al. (2025)	Evaluasi Laju Korosi Atmosferik Komponen Distribusi Listrik Pesisir	Menilai degradasi korosi logam peralatan listrik di pesisir	Inspeksi visual & pengukuran ketebalan	Aerosol laut mempercepat laju korosi busbar dan casing panel hingga 3 kali lipat	Relevan dengan analisis korosi fisik busbar dan panel di Pantai Kelan
---	---------------------	---	---	--	--	---

METODE PENELITIAN

Penelitian ini menerapkan metode analisis kualitatif dan kuantitatif deskriptif yang diintegrasikan dengan metode Fault Tree Analysis (FTA). Pendekatan FTA merupakan metode deduktif top-down yang mengevaluasi kejadian kegagalan puncak (top event) pada sistem dan rincinya secara sistematis ke dalam kejadian antara (intermediate event) hingga diperoleh kejadian dasar (basic event) melalui hubungan gerbang logika (OR gate dan AND gate). Penelitian dilaksanakan di Substasiun Pantai Kelan, Bandar Udara Internasional I Gusti Ngurah Rai Bali, yang berlangsung dari Februari 2026 hingga Agustus 2026. Objek penelitian difokuskan pada unit kubikel tegangan menengah 20 kV Schneider Electric SM6, kompartemen busbar, Current Transformer (CT), Voltage Transformer (VT), SF6 Circuit Breaker, sistem grounding, serta lingkungan mikro ruang gardu.

Teknik pengumpulan data dilakukan melalui empat instrumen utama: (1) observasi visual langsung terhadap kondisi fisik panel, karat casing, kondisi busbar tembaga, dan tingkat kelembapan dinding ruangan; (2) wawancara mendalam dengan teknisi dinas malam dan pengelola fasilitas kelistrikan bandara mengenai anomali operasional; (3) telaah dokumen historis logbook pemeliharaan dan laporan gangguan periode tahun 2025–2026; serta (4) pengukuran parameter lingkungan operasional. Teknik pengolahan data diawali dengan mentabulasi data gangguan dan gejala degradasi fisik, kemudian menetapkan Top Event FTA berupa 'Gangguan pada Kubikel Tegangan Menengah 20 kV'. Selanjutnya diturunkan tiga cabang Intermediate Event yaitu: Korosi Komponen (IE.1), Fenomena Korona (IE.2), dan Kejadian Flashover (IE.3). Dari masing-masing cabang diidentifikasi seluruh Basic Event (faktor lingkungan maritim, ventilasi, kondensasi, dan deposit garam) untuk menghasilkan cut set penyebab gangguan, yang kemudian dijadikan dasar perumusan rekomendasi peningkatan keandalan bertingkat (jangka pendek, menengah, dan panjang).

HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

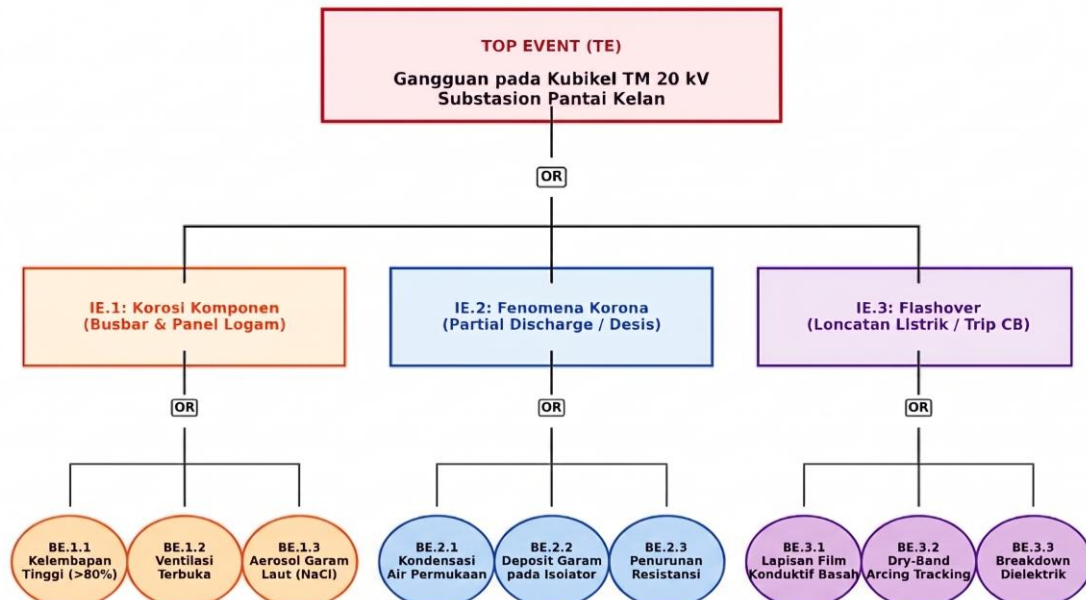
Hasil Penelitian

Substasiun Pantai Kelan terletak persis di pinggir pantai dengan jarak kurang dari 50 meter dari bibir laut Pantai Kelan. Hasil observasi fisik menunjukkan kondisi ruang gardu mengalami kelembapan sangat tinggi yang terlihat dari bercak jamur dan rembesan pada dinding beton. Pintu masuk gardu berbahan pelat logam telah mengalami pengelupasan cat dan korosi parah. Terdapat kisi-kisi ventilasi terbuka tanpa filter penyaring udara, sehingga angin laut yang membawa uap air jenuh dan partikel aerosol garam leluasa masuk ke dalam ruangan dan berkontak langsung dengan kubikel tegangan menengah. Pemeriksaan visual pada kubikel TM 20 kV menunjukkan karat pada engsel pintu, sudut pelat penutup kompartemen, dan baut pengikat terminal. Pada sistem busbar grounding tembaga tampak lapisan patina kehijauan (tembaga karbonat) dan bercak kecokelatan yang mengindikasikan oksidasi intensif. Berdasarkan wawancara dengan teknisi dan catatan logbook pemeliharaan, terekam tiga peristiwa gangguan operasional signifikan pada kubikel sebagaimana dirangkum pada Tabel 2.

Tabel 2. Rekapitulasi Riwayat Gangguan Kubikel TM 20 kV di Substasiun Pantai Kelan

No	Tanggal & Waktu	Peralatan Terdampak	Gejala & Indikasi Gangguan	Faktor Penyebab Utama
1	16 Mei 2025 (19.30 WITA)	Busbar & Terminasi Kabel Kubikel TM	Suara mendesis (hissing), bau khas gas ozon, teramati korona samar	Kelembapan udara ruangan tinggi (>80%) dan deposit garam tipis pada isolator

2	17 September 2025 (21.15 WITA)	Terminasi Fasa S Kubikel Outgoing TM	Suara letupan kecil (crackling), terdapat jejak rambanan arus (surface tracking)	Lapisan konduktif uap lembap dan aerosol garam laut pada permukaan isolasi
3	09 November 2025 (03.40 WITA)	Incoming Circuit Breaker (CB), Busbar & Isolator	Loncatan bunga api listrik hebat (flashover), isolator hangus, relay proteksi trip	Penurunan drastis kekuatan dielektrik akibat kondensasi basah dan akumulasi garam



Gambar 1. Diagram Pohon Kesalahan (Fault Tree Analysis) Gangguan Kubikel TM 20 kV

Hasil konstruksi FTA pada Gambar 1 menguraikan Top Event gangguan kubikel menjadi tiga cabang kegagalan melalui gerbang OR gate: (1) Korosi Komponen (IE.1) dipicu oleh kelembapan udara ruang tinggi (BE.1.1), ventilasi terbuka (BE.1.2), dan paparan aerosol garam laut (BE.1.3); (2) Fenomena Korona (IE.2) dipicu oleh kondensasi air permukaan (BE.2.1), deposit partikel garam pada isolator (BE.2.2), dan penurunan resistansi permukaan (BE.2.3); serta (3) Flashover (IE.3) dipicu oleh pembentukan film elektrolit basah konduktif (BE.3.1), terbentuknya dry-band arcing tracking (BE.3.2), dan kegagalan total ketahanan dielektrik (BE.3.3). Mekanisme rantai degradasi fisik dan elektrokimia tersebut disajikan secara runtut pada Gambar 2.

Mekanisme Rantai Degradasi Isolasi dan Korosi Kubikel TM 20 kV di Lingkungan Maritim

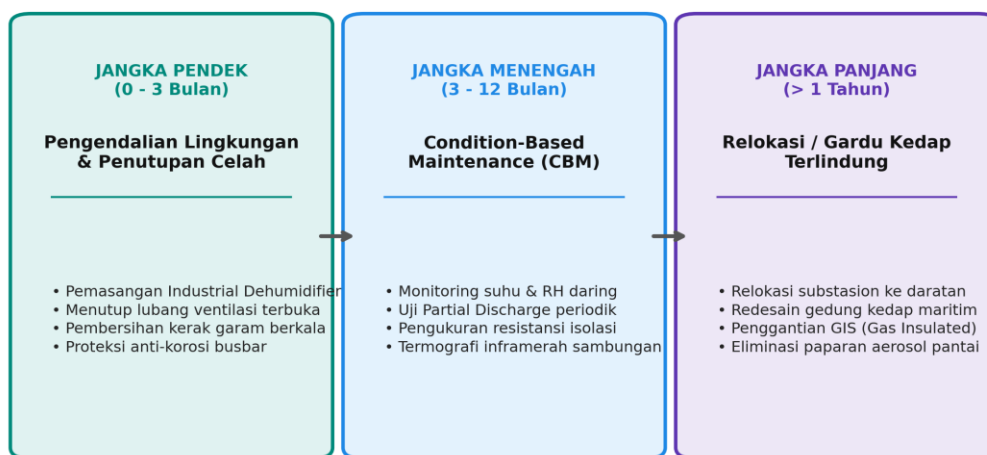


Gambar 2. Mekanisme Rantai Degradasi Isolasi dan Korosi Kubikel TM 20 kV di Lingkungan Maritim

Tabel 3. Matriks Rekomendasi Upaya Peningkatan Keandalan Berdasarkan Hasil FTA

Kategori Solusi	Tindakan Rekomendasi	Komponen Sasaran	Tujuan & Luaran Teknis
Jangka Pendek (0 - 3 Bulan)	Pemasangan Dehumidifier Industri & Penutupan Celah Ventilasi	Ruangan Gardu & Pintu Masuk	Menjaga RH ruangan < 60% dan mencegah penetrasi aerosol garam laut langsung
Jangka Menengah (3 - 12 Bulan)	Penerapan Condition-Based Maintenance (CBM) & Monitoring Daring	Kubikel TM, Busbar, & Isolator	Deteksi dini Partial Discharge (korona), inspeksi termografi berkala, dan pembersihan deposit garam
Jangka Panjang (> 1 Tahun)	Relokasi Substasiun ke Area Terlindung / Upgrade Gas Insulated Switchgear	Keseluruhan Gedung & Sistem Kubikel	Menghilangkan faktor stres maritim pantai secara permanen guna menjamin keandalan suplai ILS/DVOR

Roadmap Strategi Peningkatan Keandalan Kubikel TM 20 kV Substasiun Pantai Kelan



Gambar 3. Roadmap Strategi Peningkatan Keandalan Kubikel TM 20 kV Substasiun Pantai Kelan

Pembahasan

Temuan penelitian pada Tabel 2 dan pemodelan FTA pada Gambar 1 membuktikan bahwa kegagalan kubikel di Substasiun Pantai Kelan bukan disebabkan oleh faktor penuaan peralatan (aging effect), melainkan murni akibat stres lingkungan pesisir yang teramat agresif. Secara teori elektrokimia, udara laut membawa partikel natrium klorida (NaCl) berbentuk aerosol mikroskopis. Ketika ventilasi ruangan terbuka lebar, aerosol ini masuk dan menempel pada permukaan logam dan isolator kubikel. Dalam kondisi kelembapan udara relatif tinggi (>80%), garam bersifat higroskopis kuat dan menyerap uap air hingga membentuk lapisan tipis elektrolit cair konduktif. Lapisan elektrolit ini memicu dua mekanisme destruktif secara simultan. Pertama, pada komponen logam (busbar tembaga, casing, mur-baut), terjadi korosi elektrokimia atmosferik yang mempercepat degradasi mekanis sambungan dan meningkatkan resistansi kontak listrik (Putra et al., 2025). Kedua, pada komponen isolasi (isolator tumpu, bushing, dan terminasi kabel), lapisan elektrolit menurunkan resistansi permukaan dielektrik secara drastis. Arus bocor (leakage current) yang mengalir pada lapisan basah tersebut menimbulkan pemanasan lokal (joule heating) dan menguapkan air, membentuk area pita kering (dry-band). Beda potensial 20 kV terkonsentrasi melintasi celah pita kering ini, memicu percikan listrik lokal (dry-band arcing) dan ionisasi udara yang menghasilkan gas ozon dan suara hissing (fenomena korona) sebagaimana tercatat pada gangguan 16 Mei 2025 (Lestari et al., 2021; Suharsono & Purwanto, 2022).

Apabila proses dry-band arcing berlangsung terus-menerus tanpa penanganan lingkungan yang memadai, panas dari busur listrik akan mengkarbonisasi permukaan resin

isolator hingga terbentuk lintasan konduktif permanen (surface tracking, gangguan 17 September 2025). Pada puncaknya, loncatan bunga api listrik menjembatani keseluruhan jarak rambat isolator hingga terjadi kegagalan dielektrik total berupa flashover dan loncatan arus hubung singkat fase-ke-tanah, yang memaksa relay proteksi bekerja memutus Circuit Breaker (gangguan 9 November 2025). Fakta bahwa gangguan terparah terjadi pada pukul 03.40 WITA sangat konsisten dengan profil meteorologi pesisir, di mana dini hari merupakan waktu terjadinya penurunan suhu udara terendah yang memicu kelembapan relatif mencapai titik jenuh (dew point) dan memicu kondensasi masif. Hal ini menegaskan bahwa strategi perbaikan pada Tabel 3 dan Gambar 3 yang menempatkan dehumidifikasi dan kekedapan ruang sebagai langkah awal mutlak diperlukan sebelum mempertimbangkan relokasi permanen.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil observasi lapangan, analisis data historis gangguan, dan pemodelan Fault Tree Analysis (FTA), kondisi eksisting kubikel tegangan menengah 20 kV di Substasiun Pantai Kelan mengalami degradasi parah berupa korosi pada busbar grounding tembaga dan dinding panel, timbulnya suara desis ozon (korona), jejak surface tracking, serta riwayat flashover yang memicu trip pemutus tenaga. Analisis FTA membuktikan bahwa kelembapan udara relatif tinggi (>80%) dan paparan aerosol garam laut (NaCl) merupakan basic event dominan yang menurunkan ketahanan dielektrik permukaan isolasi dan memicu korosi elektrokimia. Kebaruan penelitian ini berhasil memetakan rantai kegagalan fisik dari deposisi garam higroskopis, kondensasi air, dry-band arcing, korona, hingga flashover pada instalasi suplai navigasi bandara di kawasan pesisir tropis. Penelitian ini memiliki keterbatasan berupa durasi perekaman parameter mikroklimat lingkungan yang belum dilakukan secara sensorik daring terus-menerus. Upaya peningkatan keandalan sistem kelistrikan direkomendasikan secara bertahap melalui tiga fase: jangka pendek dengan pemasangan industrial dehumidifier dan penutupan kisi ventilasi terbuka; jangka menengah dengan menerapkan Condition-Based Maintenance (CBM) berbasis pemantauan daring suhu-kelembapan serta pengujian berkala Partial Discharge; dan jangka panjang melalui pertimbangan relokasi gedung substasiun atau penggunaan teknologi Gas Insulated Switchgear (GIS) yang kedap sepenuhnya dari atmosfer maritim.

Penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada manajemen PT Angkasa Pura Indonesia Kantor Cabang Bandara Internasional I Gusti Ngurah Rai Bali, AirNav Indonesia Cabang Denpasar, serta sivitas akademika Program Studi Diploma IV Teknik Listrik Bandara Politeknik Penerbangan Indonesia Curug atas izin penelitian, data operasional, fasilitas, dan bimbingan berharga selama pelaksanaan penelitian hingga terselesaikannya naskah artikel ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Alam, S., Munir, A., & Firdaus, M. (2024). Pengaruh akumulasi polutan garam (NaCl) dan kelembapan lingkungan pesisir terhadap fenomena arcing discharge dan korona pada isolator distribusi. *Jurnal Teknologi Ketenagalistrikan dan Energi*, 16(1), 45–54.
- Alijoyo, A., Wijaya, B., & Jacob, I. (2021). Fault Tree Analysis – FTA (Analisis Pohon Kesalahan). Center for Risk Management and Sustainability (CRMS) Indonesia.
- Glover, J. D., Overbye, T. J., Sarma, M. S., & Birchfield, A. B. (2022). *Power System Analysis and Design* (7th ed.). Cengage Learning.
- Hidayatullah, R., Prasetyo, E., & Wibowo, T. (2023). Analisis pengaruh variasi kelembapan relatif dan temperatur terhadap penurunan tegangan flashover isolator tegangan menengah. *Jurnal Teknik Elektro dan Sistem Komputasi*, 11(2), 112–120.



- Lestari, D. A., Santoso, B., & Kurniawan, H. (2021). Identifikasi pelepasan sebagian (partial discharge) dan korona akibat peningkatan kelembapan pada kubikel 20 kV. *Jurnal Energi dan Kelistrikan*, 13(1), 18–27.
- Prasetya, D., & Arifin, Z. (2022). Pengaruh deposit garam dan kelembapan udara terhadap karakteristik arus bocor pada isolator 20 kV di kawasan pesisir. *Jurnal Teknik Elektro dan Energi Terbarukan*, 10(2), 77–86.
- Putra, R. A., Setiawan, D., & Nugroho, A. (2025). Evaluasi laju korosi atmosferik dan pengaruh aerosol garam laut terhadap keandalan komponen distribusi listrik pesisir. *Jurnal Rekayasa Material dan Sistem Tenaga*, 14(1), 33–42.
- Ramadhan, R., & Hidayat, T. (2023). Analisis keandalan dan keselamatan sistem distribusi tenaga listrik menggunakan metode Fault Tree Analysis (FTA). *Jurnal Rekayasa Sistem & Industri*, 10(1), 15–24.
- Rosalin, M., & Aribowo, D. (2023). *Dasar-Dasar Teknik Ketenagalistrikan: Konsep Tegangan, Arus, dan Karakteristik Gelombang AC-DC*. Erlangga.
- Santoso, B., & Setiawan, A. (2022). Analisis Sistem Tenaga Listrik dan Pengukuran Daya AC-DC. *Rekayasa Sains*.
- Schneider Electric. (2021). *Medium Voltage Distribution: SM6 Modular Units for MV/LV Substation up to 24 kV Technical Guide and Manual*. Schneider Electric SE.
- Suharsono, S. W., & Purwanto, S. (2022). Analisis efek korona pada kubikel riser 20 kV (interface trafo 3) terhadap isolasi rell di Gardu Induk Cikupa UP2D Banten. *Jurnal Ilmiah Teknik Elektro dan Sistem Tenaga*, 8(2), 75–84.
- Wibowo, A. T., & Nugroho, S. (2023). Analisis keandalan dan jalur kegagalan komponen kubikel 20 kV menggunakan metode Fault Tree Analysis (FTA) di gardu distribusi. *Jurnal Sistem Tenaga & Energi Terbarukan*, 12(1), 20–31.
- Yulianto, A. (2023). *Sistem Catu Daya Listrik dan Penyaluran Energi: Pembangkitan, Transmisi, hingga Distribusi*. Graha Ilmu.