

Analisis Aliran Daya dan Hubung Singkat Jaringan 20 kV Terminal Domestik Bandara Ngurah Rai

Asrul Purnomo Mino¹ Taryana² IGK. Rai Darmaja³

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

Email: acoelpmino@gmail.com¹ taryana@ppicurug.ac.id² rdarmaja@gmail.com³

Abstrak

Sistem distribusi tegangan menengah 20 kV Terminal Domestik Bandar Udara Internasional I Gusti Ngurah Rai Bali berperan penting dalam menjaga kontinuitas penyaluran tenaga listrik untuk operasional bandar udara. Konfigurasi jaringan *looping* dan kejadian gangguan *ground fault* pada jaringan tegangan menengah bandara menunjukkan perlunya evaluasi preventif terhadap kondisi jaringan dan sistem proteksi. Penelitian ini bertujuan menganalisis kondisi aliran daya, menentukan arus hubung singkat dan kesesuaiannya terhadap kemampuan panel tegangan menengah, serta mengevaluasi respons dan selektivitas *Ground Fault Relay* (GFR). Metode yang digunakan adalah penelitian kuantitatif dengan studi kasus pada jaringan Metering Kiosk I (MK I), meliputi pengumpulan data eksisting, perhitungan manual, dan pemodelan menggunakan *Electrical Transient Analysis Program* (ETAP) melalui *Load Flow Analysis*, *Short Circuit Analysis*, serta simulasi *Single Line to Ground Fault* dengan fitur *Sequence of Operation*; pendekatan ini dipilih karena memungkinkan evaluasi gangguan tanpa mengganggu operasi jaringan. Hasil *Load Flow* menunjukkan kebutuhan daya aktif 3,997 MW dan daya reaktif 1,936 MVar, daya tersuplai 4,015 MW, dengan rugi daya aktif 0,0178 MW dan rugi daya reaktif 0,0602 MVar. Arus hubung singkat tiga fasa sebesar 4,519065 kA, atau 28,24% dari kemampuan panel 16 kA (Ik), dengan arus puncak 11,64654 kA di bawah 40 kA (Ip). Pengujian GFR pada jalur SSC-SSG menunjukkan relay pertama bekerja pada 289 ms dan relay berikutnya pada 294 ms dengan selisih hanya 5 ms. GFR eksisting mampu mendeteksi gangguan, namun koordinasinya belum optimal. Evaluasi parameter *setting* GFR direkomendasikan agar relay terdekat bekerja lebih dahulu dan relay *upstream* menjadi proteksi cadangan.

Kata Kunci: *Load Flow Analysis*, *Short Circuit Analysis*, *Ground Fault Relay*, ETAP, Jaringan Tegangan Menengah 20 kV



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 dikelola oleh PT Angkasa Pura Indonesia dan memerlukan pasokan listrik yang andal untuk terminal penumpang, sistem penanganan bagasi, peralatan elektromekanis, sistem HVAC, fasilitas navigasi, penerangan apron, dan bangunan penunjang (Republik Indonesia, 2009). Kebutuhan tersebut dilayani jaringan distribusi 20 kV yang dipasok lima penyulang PT PLN (Persero), dengan 10 unit generator set sebagai sumber cadangan. Perkembangan fasilitas bandar udara membuat kondisi pembebanan perlu dievaluasi secara berkala karena perubahan beban memengaruhi arus, profil tegangan, pembebanan transformator, dan rugi-rugi daya (Prayoga & Suprianto, 2023). Jaringan tegangan menengah bandara terdiri atas konfigurasi radial dan *loop/ring*. Konfigurasi ini fleksibel, tetapi menuntut sistem proteksi yang bekerja tepat; gangguan yang tidak ditangani dengan benar dapat memutus suplai pada area yang lebih luas (Kartoni & Ervianto, 2016). Pada Oktober 2025 terjadi gangguan *ground fault* pada kabel bawah tanah di area Terminal Internasional akibat terkena alat berat yang menyebabkan pemutus di Metering Kiosk II bekerja. Kejadian ini tidak terjadi di jaringan Terminal Domestik, tetapi menunjukkan bahwa gangguan dapat muncul dari kondisi operasional dan aktivitas di sekitar jaringan. Dalam

kerangka *Safety Management System*, potensi ketidakselektifan proteksi perlu diidentifikasi sebagai dasar langkah pencegahan (Kementerian Perhubungan Republik Indonesia, 2021). Penelitian terdahulu telah menerapkan ETAP untuk analisis aliran daya dengan metode Newton-Raphson (Otniel & Busaeri, 2019; Nigara & Primadiyono, 2015; Indrawan, 2018), analisis gangguan hubung singkat (Samin, 2019; Galla et al., 2020), serta evaluasi koordinasi relay proteksi (Andriyan & Murdiantoro, 2022; Ibrahimusa et al., 2022; Tanjung et al., 2025). Pada jaringan *loop*, gangguan satu fasa ke tanah dapat memicu lebih dari satu relay bekerja apabila koordinasi tidak sesuai dengan lokasi gangguan (Arraief et al., 2025). Destriyana et al. (2022) telah menggabungkan studi aliran daya dan sistem proteksi pada jaringan 20 kV.

Namun, penelitian-penelitian tersebut umumnya membahas aliran daya, hubung singkat, atau koordinasi proteksi secara terpisah, dan objeknya berada pada jaringan PLN maupun industri. Kebaruan penelitian ini adalah analisis terintegrasi ketiga aspek tersebut secara spesifik pada jaringan *loop* 20 kV Terminal Domestik Bandar Udara I Gusti Ngurah Rai, dengan fokus pada kondisi operasi, kesesuaian arus gangguan terhadap kemampuan panel tegangan menengah, dan selektivitas GFR pada kondisi eksisting. Berdasarkan hal tersebut, penelitian ini bertujuan untuk: (1) menganalisis dan mengevaluasi kondisi aliran daya pada jaringan 20 kV Terminal Domestik menggunakan ETAP; (2) menentukan besarnya arus hubung singkat dan mengevaluasi kesesuaiannya terhadap kemampuan hubung singkat panel tegangan menengah yang terpasang; serta (3) menganalisis dan mengevaluasi selektivitas kerja GFR pada jaringan *loop* terhadap gangguan satu fasa ke tanah.

Penelitian Terdahulu yang Relevan

No	Penulis/ Tahun	Judul	Tujuan	Metode	Hasil	Kontribusi dan relevansi
1	Otniel & Busaeri (2019)	Analisis aliran daya sistem tenaga listrik pada bagian penyulang 05EE0101A di Area Utilities II PT Pertamina (Persero) RU IV Cilacap menggunakan metode Newton-Raphson	Menganalisis aliran daya pada penyulang industri	Newton-Raphson dan ETAP 12.6	Profil tegangan, aliran daya, dan rugi-rugi daya penyulang dianalisis	Referensi analisis profil tegangan, aliran daya, dan rugi-rugi daya
2	Samin (2019)	Analisa gangguan hubung singkat satu fasa ke tanah pada jaringan distribusi 20 kV PT PLN (Persero) Sebatik menggunakan ETAP Power Station 12.6.0	Menganalisis gangguan satu fasa ke tanah pada jaringan 20 kV	Simulasi ETAP Power Station 12.6.0	Arus gangguan satu fasa ke tanah dianalisis sebagai dasar setting proteksi	Referensi analisis ground fault dan penentuan setting proteksi
3	Andriyan & Murdiantoro (2022)	Analisis koordinasi OCR dan GFR pada sistem distribusi 20 kV studi kasus di PT PLN (Persero) ULP Sidareja	Mengevaluasi koordinasi OCR dan GFR	Perhitungan manual dan ETAP 12.6.0	Hasil perhitungan manual dibandingkan dengan hasil simulasi koordinasi	Referensi arus hubung singkat, koordinasi OCR-GFR, dan perbandingan dengan simulasi
4	Destriyana et al. (2022)	Analisa studi aliran daya dan sistem proteksi 20 kV untuk menunjang program zero down time di kawasan Kota Surakarta	Mengkaji aliran daya dan sistem proteksi 20 kV	Simulasi ETAP 19.0.1	Aliran daya dan sistem proteksi 20 kV dianalisis secara terpadu	Referensi integrasi analisis aliran daya dan sistem proteksi
5	Tanjung et al. (2025)	Analisis dan koordinasi relay proteksi terhadap gangguan hubung singkat pada sistem tenaga listrik menggunakan ETAP	Mengevaluasi koordinasi relay terhadap gangguan hubung singkat	ETAP, short circuit, dan TCC	Koordinasi, margin waktu, dan selektivitas relay dievaluasi	Referensi kriteria margin waktu dan selektivitas relay

METODE PENELITIAN

Penelitian ini merupakan penelitian kuantitatif dengan pendekatan studi kasus berbasis data kondisi eksisting, perhitungan manual, dan simulasi. Simulasi dipilih karena gangguan hubung singkat dan gangguan tanah dapat diuji pada berbagai titik tanpa mengganggu operasi

jaringan yang melayani bandar udara. Penelitian dilaksanakan di Bandar Udara Internasional I Gusti Ngurah Rai Bali, Kabupaten Badung, Provinsi Bali, pada April–Juli 2026. Populasi penelitian adalah seluruh peralatan sistem distribusi 20 kV Terminal Domestik, meliputi jaringan, transformator, kabel, CT, CB, dan peralatan proteksi. Sampel ditetapkan pada jaringan *loop* yang disuplai Metering Kiosk I (MK I), yaitu jalur MPH 2A–E–F–A–G–C, karena konfigurasi *loop* memungkinkan pengujian respons proteksi terhadap gangguan satu fasa ke tanah.

Data dikumpulkan melalui survei lapangan dan studi literatur. Survei menggunakan *Single Line Diagram* (SLD), laptop, kamera, *digital power meter*, dan perangkat lunak Schneider Electric SFT2841 untuk membaca *setting* relay SEPAM. Data yang diperoleh meliputi SLD, spesifikasi 30 unit transformator MK I (50–1.600 kVA), 14 saluran kabel N2XSEFGby dan N2XSEBY 12/20 kV, data populasi panel tegangan menengah, data pembebanan rata-rata harian dari *digital power meter*, data sumber, dan data *setting* GFR. Sumber MK I berkapasitas 10.380 kVA, 20 kV, 50 Hz, dengan kapasitas hubung singkat tiga fasa penyulang Gayatri (MK I) sebesar 156,545 MVA. Tiga unit genset Yanmar 2.000 kVA berada pada kondisi *standby* sehingga tidak dimasukkan sebagai sumber aktif.

Pengolahan data dilakukan dalam lima tahap. Pertama, perhitungan manual daya semu, faktor daya, arus beban, dan arus hubung singkat menggunakan persamaan (1)–(4) sebagai pembanding hasil simulasi. Kedua, pemodelan sistem pada ETAP sesuai SLD dan data eksisting, dengan relay SEPAM 40 dari pustaka ETAP dan seluruh beban dimodelkan sebagai *static load* berdasarkan rata-rata pembebanan harian. Ketiga, *Load Flow Analysis* dengan metode Newton-Raphson. Keempat, *Short Circuit Analysis* tiga fasa pada bus-bus utama, lalu hasilnya dibandingkan dengan kemampuan hubung singkat panel tegangan menengah. Kelima, simulasi *Single Line to Ground Fault* pada konektor antara CB_SSG.2 dan CB_SSC.1 menggunakan fitur *Sequence of Operation*. Jalur SSC–SSG dipilih karena merupakan jalur *loop* dengan saluran relatif paling panjang sehingga mewakili kondisi impedansi saluran yang lebih besar. Evaluasi dilakukan dengan kriteria bahwa relay terdekat dengan titik gangguan harus bekerja terlebih dahulu sebagai pengaman utama, sedangkan relay *upstream* bekerja lebih lambat sebagai pengaman cadangan. Parameter *setting* relay tidak diubah dalam simulasi.

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2} \quad (1)$$

$$\cos \varphi = P / S \quad (2)$$

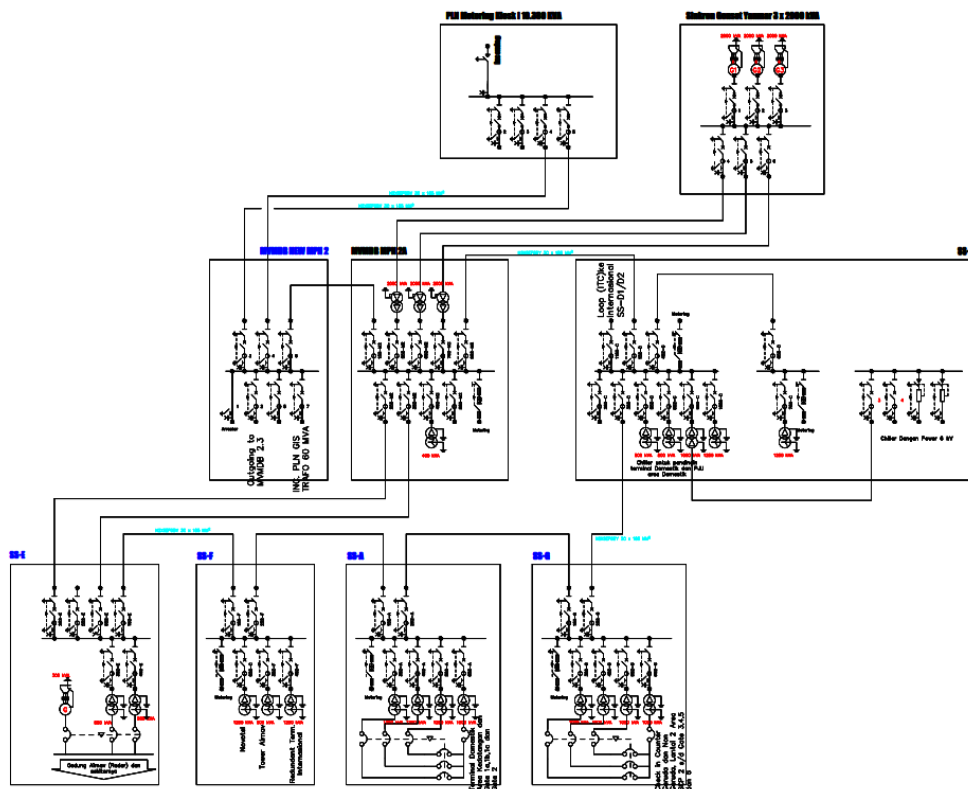
$$I = S / (\sqrt{3} \times V) \quad (3)$$

$$I_{SC} = S_{SC} / (\sqrt{3} \times V) \quad (4)$$

HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

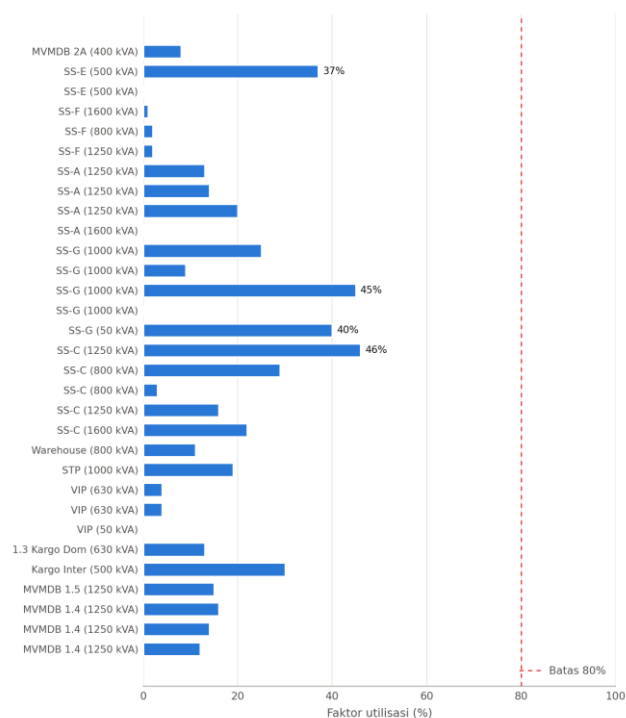
Hasil Penelitian

Penelitian ini dilakukan pada jaringan 20 kV Terminal Domestik yang disuplai Metering Kiosk I (MK I) Bandar Udara Internasional I Gusti Ngurah Rai Bali. Konfigurasi jaringan MK I, mulai dari sumber PLN Metering Kiosk I 10.380 kVA, sinkron genset Yanmar 3 × 2.000 kVA, MVMDB MPH 2A, hingga substation E, F, A, G, dan C yang membentuk jaringan *loop*, ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Single Line Diagram Jaringan Tegangan Menengah 20 kV Metering Kiosk I (MK I)

Faktor utilisasi transformator jaringan MK I disajikan pada Gambar 2. Tidak ada transformator yang dibebani lebih dari 80%; faktor utilisasi tertinggi sebesar 46% pada transformator 1.250 kVA di Substation C, diikuti 45% pada transformator 1.000 kVA di Substation G.



Gambar 2. Faktor Utilisasi Transformator Jaringan MK I Terminal Domestik

Perhitungan manual dengan data *digital power meter* $P = 4.015 \text{ kW}$, $Q = 1.996 \text{ kVAr}$, dan $V = 20 \text{ kV}$ menghasilkan daya semu $S = 4.483,78 \text{ kVA}$, faktor daya 0,90, dan arus beban $I = 129,43 \text{ A}$. Hasil *Load Flow Analysis* ETAP disajikan pada Tabel 1. Seluruh bus utama berada pada kisaran tegangan nominal, dan faktor daya pada beberapa penyulang berada pada kisaran 89,54%.

Tabel 1. Hasil Load Flow Analysis Jaringan Tegangan Menengah 20 kV MK I

Parameter	Hasil
Total daya aktif beban	3,997 MW
Total daya reaktif beban	1,936 MVar
Total daya pembangkitan (tersuplai)	4,015 MW
Rugi-rugi daya aktif	0,0178 MW
Rugi-rugi daya reaktif	0,0602 MVar

Perhitungan manual arus hubung singkat tiga fasa berdasarkan kapasitas hubung singkat 156,545 MVA pada 20 kV menghasilkan $I_{sc} = 4,519 \text{ kA}$. Hasil *Short Circuit Analysis* ETAP pada Tabel 2 menunjukkan nilai yang sama, yaitu 4,519065 kA pada seluruh bus utama. Perbandingan terhadap kemampuan panel tegangan menengah (Schneider SM6 dan Ormazabal, 16 kA) disajikan pada Tabel 3.

Tabel 2. Hasil Short Circuit Analysis Tiga Fasa pada Bus Tegangan Menengah

Bus ID	Tegangan Nominal (kV)	Arus Hubung Singkat (kA)
BUS_MK 1B	20	4,519065
BUS_2A	20	4,519065
BUS_SSE	20	4,519065
BUS_SSF	20	4,519065
BUS_SSA	20	4,519065
BUS_SSG	20	4,519065
BUS_SSC	20	4,519065

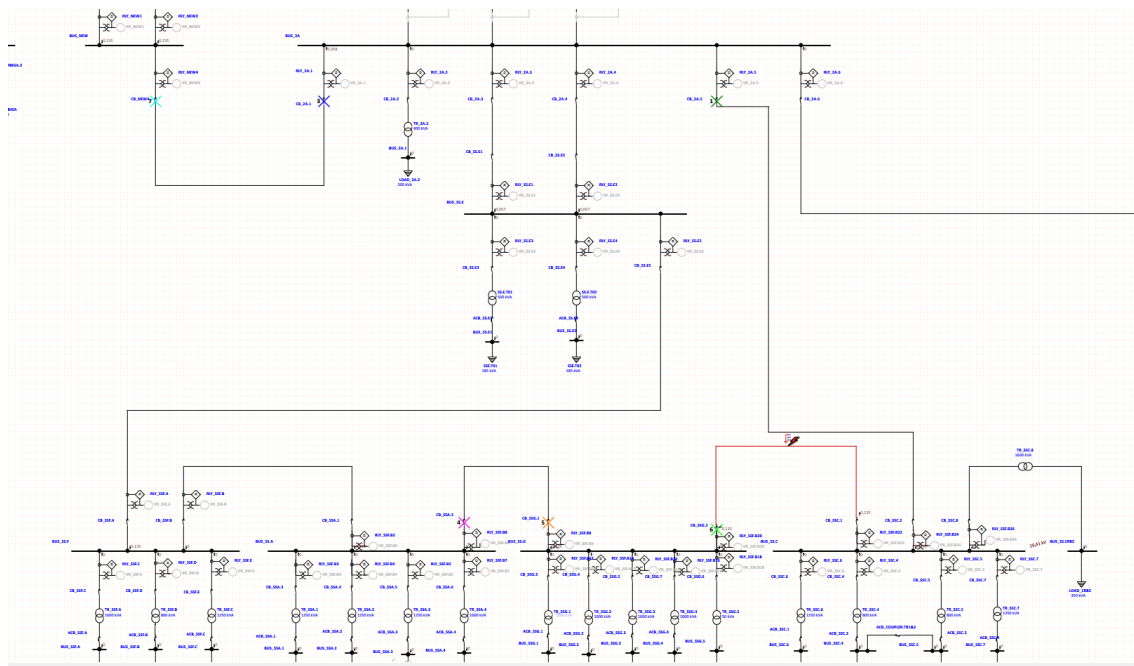
Tabel 3. Perbandingan Hasil Simulasi dengan Rating Panel Tegangan Menengah

No	Parameter	Hasil Simulasi ETAP	Rating Panel TM	Keterangan
1	Tegangan nominal	20 kV	20 kV	Sesuai
2	Arus hubung singkat tiga fasa	4,519065 kA	16 kA (Ik)	Di bawah rating
3	Arus puncak hubung singkat	11,64654 kA	40 kA (Ip)	Di bawah rating
4	Kemampuan hubung singkat	4,519065 kA	16 kA (Ik)	Memenuhi berdasarkan Ik

Hasil *Sequence of Operation* GFR untuk gangguan satu fasa ke tanah pada konektor CB_SSG.2–CB_SSC.1 disajikan pada Tabel 4 dan Gambar 3. Relay pertama yang bekerja adalah RLY_2A.5 pada 289 ms, diikuti RLY_NEW12 pada 294 ms dengan selisih 5 ms. Rangkaian operasi dari relay pertama hingga CB terakhir berlangsung selama 163 ms (289–452 ms).

Tabel 4. Hasil Sequence of Operation GFR Kondisi Eksisting (Gangguan SLG pada Jalur SSC–SSG)

No	Waktu (ms)	Peralatan	Fungsi / Kondisi
1	289	RLY_2A.5	Ground–OC1–51
2	294	RLY_NEW12	Ground–OC1–51
3	354	CB_2A.5	Tripped by RLY_2A.5 Ground–OC1–51
4	359	CB_MK1A	Tripped by RLY_NEW12 Ground–OC1–51
5	387	RLY_2A.1	Ground–OC1–51
6	400	RLY_SSF.B8	Ground–OC1–50
7	400	RLY_SSF.B9	Ground–OC1–50
8	400	RLY_SSF.B20	Ground–OC1–50
9	452	CB_2A.1	Tripped by RLY_2A.1 Ground–OC1–51



Gambar 3. Hasil Sequence of Operation GFR Kondisi Eksisting pada ETAP

Pembahasan

Hasil *Load Flow Analysis* menjawab tujuan pertama. Kebutuhan daya aktif 3,997 MW dan daya reaktif 1,936 MVar dipenuhi oleh sumber sebesar 4,015 MW, dengan rugi daya aktif 0,0178 MW dan rugi daya reaktif 0,0602 MVar. Rugi daya yang relatif kecil menunjukkan jaringan masih mampu menyalurkan daya dari sumber ke beban secara memadai. Hasil perhitungan manual (4.483,78 kVA; faktor daya 0,90; 129,43 A) bersesuaian dengan hasil simulasi sehingga model ETAP dapat digunakan sebagai dasar analisis gangguan. Faktor utilisasi transformator yang seluruhnya di bawah 80% juga menunjukkan bahwa kapasitas transformator masih memadai terhadap pembebanan eksisting. Temuan ini sejalan dengan penerapan Newton-Raphson dan ETAP untuk evaluasi profil tegangan, aliran daya, dan rugi-rugi daya pada Otniel dan Busaeri (2019) serta Nigara dan Primadiyono (2015).

Hasil *Short Circuit Analysis* menjawab tujuan kedua. Arus hubung singkat tiga fasa 4,519065 kA sama dengan hasil perhitungan manual 4,519 kA dan hanya sekitar 28,24% dari kemampuan panel $I_k = 16$ kA, sehingga tersisa margin 11,48 kA. Arus puncak 11,64654 kA juga jauh di bawah $I_p = 40$ kA. Dengan demikian, kemampuan hubung singkat panel tegangan menengah yang terpasang masih lebih besar daripada arus gangguan yang mungkin terjadi. Nilai arus hubung singkat yang sama pada seluruh bus menunjukkan bahwa pada kondisi simulasi, perubahan lokasi bus tidak memberikan perubahan signifikan, yang dapat disebabkan oleh impedansi sumber dan penghantar yang relatif kecil atau impedansi ekivalen tiap bus yang hampir sama. Hasil pengujian GFR menjawab tujuan ketiga. GFR eksisting mampu mendeteksi gangguan tanah dan memberikan perintah trip, tetapi selektivitasnya belum optimal. RLY_2A.5 dan RLY_NEW12 bekerja hanya berselisih 5 ms, sehingga koordinasi waktu antara keduanya sangat berdekatan. Dalam urutan yang sama, CB_MK1A juga trip pada 359 ms, dan tiga relay di sisi SSF (RLY_SSF.B8, RLY_SSF.B9, dan RLY_SSF.B20) bekerja bersamaan pada 400 ms. Kondisi ini tidak sesuai dengan prinsip koordinasi proteksi, yaitu relay terdekat dengan titik gangguan bekerja terlebih dahulu dan relay *upstream* bekerja lebih lambat sebagai pengaman cadangan. Temuan ini sejalan dengan Arraief et al. (2025) bahwa pada jaringan *loop*, gangguan satu fasa ke tanah dapat memicu lebih dari satu relay apabila koordinasi tidak sesuai dengan lokasi gangguan, serta dengan Tanjung et al. (2025) yang menekankan pentingnya margin waktu

antarrelay. Dibandingkan penelitian terdahulu yang membahas aliran daya, hubung singkat, atau koordinasi proteksi secara terpisah, penelitian ini menunjukkan bahwa jaringan yang secara aliran daya dan kemampuan panel dinilai memadai tetap dapat memiliki kelemahan pada selektivitas proteksi gangguan tanah. Oleh karena itu, simulasi gangguan menggunakan ETAP dapat menjadi langkah evaluasi preventif untuk mengidentifikasi potensi ketidakselektifan relay sebelum terjadi gangguan aktual.

KESIMPULAN

Jaringan tegangan menengah 20 kV Terminal Domestik Bandar Udara Internasional I Gusti Ngurah Rai Bali memerlukan daya aktif 3,997 MW dan daya reaktif 1,936 MVar yang disuplai sumber sebesar 4,015 MW, dengan rugi daya aktif 0,0178 MW dan rugi daya reaktif 0,0602 MVar, sehingga jaringan masih mampu menyalurkan daya secara memadai. Arus hubung singkat tiga fasa sebesar 4,519065 kA hanya sekitar 28,24% dari kemampuan panel 16 kA (Ik) dan arus puncak 11,64654 kA berada di bawah 40 kA (Ip), sehingga panel tegangan menengah sesuai terhadap arus gangguan. Pada gangguan satu fasa ke tanah di jalur SSC–SSG, GFR eksisting mampu mendeteksi gangguan dan memberikan perintah trip, tetapi selektivitasnya belum optimal karena beberapa relay bekerja dengan selang waktu yang sangat berdekatan (RLY_2A.5 dan RLY_NEW12 hanya berselisih 5 ms). Kontribusi penelitian ini adalah evaluasi terintegrasi aliran daya, hubung singkat, dan selektivitas GFR pada jaringan *loop* 20 kV bandar udara pada kondisi eksisting.

Penelitian ini terbatas pada kondisi suplai PLN dengan genset *standby*, beban yang dimodelkan sebagai *static load* berdasarkan rata-rata pembebanan harian, satu titik gangguan satu fasa ke tanah pada jalur SSC–SSG, dan tanpa perubahan parameter *setting* relay. Penelitian selanjutnya disarankan melakukan evaluasi dan penyesuaian *setting* GFR agar relay terdekat bekerja lebih dahulu dan relay *upstream* menjadi proteksi cadangan, memperluas pengujian pada beberapa titik dan jenis gangguan, serta mempertimbangkan perkembangan beban dan perubahan konfigurasi jaringan. Pemantauan pembebanan dan evaluasi sistem proteksi juga perlu dilakukan secara berkala.

Ucapan terima kasih disampaikan kepada PT Angkasa Pura Indonesia (InJourney Airports) Bandar Udara Internasional I Gusti Ngurah Rai Bali atas kesempatan dan dukungan data lapangan, serta kepada Program Studi Diploma IV Teknik Listrik Bandara, Politeknik Penerbangan Indonesia Curug.

DAFTAR PUSTAKA

- Andriyan, R., & Murdiantoro, R. A. (2022). *Analisis koordinasi Over Current Relay (OCR) dan Ground Fault Relay (GFR) pada sistem distribusi 20 kV studi kasus di PT. PLN (Persero) ULP Sidareja*.
- Arraief, M. R., Hakim, L., Huda, Z., & Zebua, O. (2025). Optimasi koordinasi Over Current Relay (OCR) dan Ground Fault Relay (GFR) dengan menggunakan metode Particle Swarm Optimization (PSO). *Electrician: Jurnal Rekayasa dan Teknologi Elektro*, 20(1). <https://doi.org/10.23960/elc.v20.n1.2954>
- Destriyana, A., Windarta, J., Yosua, D., & Soetrisno, A. A. (2022). Analisa studi aliran daya dan sistem proteksi 20 kV untuk menunjang program zero down time di kawasan Kota Surakarta. *Transient: Jurnal Ilmiah Teknik Elektro*, 11(4).
- Galla, W. F., Sampeallo, A. S., & Daris, J. I. (2020). *Analisis gangguan hubung singkat pada saluran udara 20 kV di penyulang Naioni PT. PLN (Persero) ULP Kupang menggunakan ETAP 12.6*.
- Ibrahmusa, G. A., Joko, T., Wrahatnolo, A., & Imam, A. (2022). *Analisis koordinasi setting relay proteksi pada jaringan distribusi 20 kV penyulang Brenggolo di PT. PLN UP3 Kediri Gardu Induk Pare*.



- Indrawan, K. (2018). *Analisa aliran daya sistem kelistrikan pada PT. PLN (Persero) Unit Pembantu Sektor Medan Titi Kuning menggunakan software ETAP*.
- Kartoni, J., & Ervianto, E. (2016). Analisa rekonfigurasi pembebanan untuk mengurangi rugi-rugi daya pada saluran distribusi 20 kV. *Jom FTEKNIK*, 3(2).
- Kementerian Perhubungan Republik Indonesia. (2021). *Peraturan Menteri Perhubungan Republik Indonesia Nomor PM 95 Tahun 2021 tentang Peraturan Keselamatan Penerbangan Sipil Bagian 139 tentang Aerodrome*.
- Nigara, A. G., & Primadiyono, Y. (2015). Analisis aliran daya sistem tenaga listrik pada bagian texturizing di PT Asia Pacific Fibers Tbk Kendal menggunakan software ETAP Power Station 4.0. *Jurnal Teknik Elektro Unnes*, 7(1), 7–10.
<https://doi.org/10.15294/jte.v7i1.8580>
- Otniel, F., & Busaeri, N. (2019). Analisis aliran daya sistem tenaga listrik pada bagian penyulang 05EE0101A di Area Utilities II PT Pertamina (Persero) Refinery Unit IV Cilacap menggunakan metode Newton-Raphson. *Journal of Energy and Electrical Engineering (JEEE)*, 1(1).
- Prayoga, A. B., & Suprianto, B. (2023). *Analisis pengaruh ketidakseimbangan beban pada transformator distribusi terhadap rugi daya (losses) dengan DIgSILENT PowerFactory di PT. PLN (Persero) ULP Ngunut*.
- Republik Indonesia. (2009). *Undang-Undang Republik Indonesia Nomor 1 Tahun 2009 tentang Penerbangan*.
- Samin, T. (2019). Analisa gangguan hubung singkat satu fasa ke tanah pada jaringan distribusi 20 kV PT. PLN (Persero) Sebatik menggunakan software ETAP Power Station 12.6.0. *Jurnal ElektriKA Borneo (JEB)*, 5(1), 19–24.
- Tanjung, M. F. D., Kurniawan, R. D., Sitorus, W. M., & Sinaga, D. J. (2025). Analisis dan koordinasi relay proteksi terhadap gangguan hubung singkat pada sistem tenaga listrik menggunakan ETAP. *Jurnal Sains Student Research*, 3(6).
<https://doi.org/10.61722/jssr.v3i6.6997>