

Koordinasi Proteksi OCR dan GFR Jaringan 20 kV Bandara I Gusti Ngurah Rai Bali

I Dewa Gede Ary Parmadi¹ Ahmad Kosasih² Rubby Soebiantoro³

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

Email: dewappbib@gmail.com¹ kosasih.curug@gmail.com² rubby605@gmail.com³

Abstrak

Sistem distribusi tegangan menengah 20 kV Terminal Internasional Bandar Udara I Gusti Ngurah Rai Bali menyuplai fasilitas operasional yang bersifat kritis sehingga menuntut sistem proteksi yang selektif. Gangguan aliran listrik pada 10 Oktober 2025 serta perubahan konfigurasi jaringan akibat pengembangan fasilitas menjadi dasar perlunya evaluasi koordinasi *Overcurrent Relay* (OCR) dan *Ground Fault Relay* (GFR). Penelitian ini bertujuan menganalisis koordinasi OCR dan GFR pada kondisi eksisting, mengevaluasi pemenuhan prinsip selektivitas, dan menyusun rekomendasi *setting* relay yang lebih selektif. Metode yang digunakan adalah metode kuantitatif dengan pendekatan studi kasus pada jalur SSF3–Bus 2.1, dipilih karena analisis bertumpu pada data numerik *setting* relay aktual dan jalur tersebut terkait langsung dengan kejadian gangguan. Sistem dimodelkan menggunakan ETAP, kemudian dilakukan *Load Flow Analysis*, *Short Circuit Analysis*, serta evaluasi kurva *Time Current Characteristic* (TCC) dan *Sequence of Operation*. Hasil simulasi menunjukkan arus hubung singkat tiga fasa sebesar 4,811–4,905 kA. Pada kondisi eksisting, gangguan di antara CB_F3.B dan CB_2.1G justru pertama kali direspons oleh relay hulu RLY_2.4C (OCR 220 ms; GFR 450 ms), sedangkan relay terdekat RLY_2.1G baru bekerja pada 300 ms (OCR) dan 600 ms (GFR). Setelah *resetting*, RLY_2.1G bekerja pertama sebagai proteksi utama pada 290 ms (OCR) dan 400 ms (GFR), diikuti relay hulu secara bertingkat sebagai proteksi cadangan. Dengan demikian, *resetting* memperbaiki urutan kerja relay sehingga koordinasi proteksi menjadi lebih selektif. Penelitian lanjutan disarankan memvalidasi *setting* di lapangan, memperbesar selang waktu antarrelay hulu, dan mengkaji relay diferensial saluran (87L) pada jaringan *looping*.

Kata Kunci: Koordinasi Proteksi, *Overcurrent Relay*, *Ground Fault Relay*, ETAP, Bandar Udara



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 salah satu bandar udara tersibuk di Indonesia yang berperan strategis dalam konektivitas nasional, internasional, dan sektor pariwisata. Sebagai infrastruktur vital, bandar udara dituntut memberikan pelayanan yang aman, andal, dan berkesinambungan, sehingga sistem tenaga listrik harus mampu menyuplai energi secara kontinu ke fasilitas operasional seperti *Airfield Lighting System* (AFL), fasilitas navigasi, terminal penumpang, dan sistem keamanan (International Civil Aviation Organization, 2022). Jaringan distribusi tegangan menengah 20 kV di bandar udara ini memiliki konfigurasi kombinasi radial dan *looping*, memperoleh suplai utama dari PT PLN (Persero), dan didukung generator set sebagai sumber cadangan.

Gangguan hubung singkat antarfasa maupun gangguan hubung tanah dapat merusak peralatan dan menghentikan operasional fasilitas apabila tidak segera diisolasi. Oleh karena itu, *Overcurrent Relay* (OCR) dan *Ground Fault Relay* (GFR) yang bekerja bersama *Circuit Breaker* (CB) harus dikoordinasikan agar memenuhi prinsip sensitivitas, selektivitas, kecepatan, dan keandalan (Blackburn & Domin, 2014; Horowitz & Phadke, 2014). Pengaturan yang tidak sesuai dapat membuat relay cadangan bekerja lebih dahulu daripada relay utama sehingga area pemadaman meluas. Persyaratan proteksi arus lebih serta pemilihan peralatan

proteksi pada instalasi listrik juga diatur dalam PUIL 2020 melalui SNI 0225-4-43:2020 dan SNI 0225-5-53:2020 (Badan Standardisasi Nasional, 2020). Kondisi aktual menunjukkan urgensi masalah ini: pada 10 Oktober 2025 pukul 18.13–19.04 WITA terjadi gangguan aliran listrik di Terminal Internasional yang menurunkan *level of service* (LoS), dan salah satu tindak lanjutnya adalah penggantian serta pengalihan jalur kabel tegangan menengah MPH 2–SS F3.

Kajian koordinasi OCR dan GFR telah banyak dilakukan. Ibrahimusa et al. (2023) mengevaluasi koordinasi *setting* relay pada penyulang 20 kV menggunakan ETAP dan menyesuaikan parameter relay untuk memperoleh koordinasi yang sesuai. Albarokah (2025) menganalisis koordinasi OCR dan GFR pada penyulang Express Selama PT PLN dengan mengevaluasi urutan kerja relay berdasarkan lokasi gangguan. Salam dan Wiyono (2023) serta Multi dan Addaus (2022) mengkaji koordinasi OCR dan GFR pada transformator daya gardu induk, sedangkan Saputro et al. (2018) membahas koordinasi OCR dan *recloser* pada penyulang 20 kV menggunakan ETAP 12.6.0. Penelitian-penelitian tersebut menunjukkan bahwa pemodelan ETAP, analisis hubung singkat, dan evaluasi karakteristik waktu-arus relay efektif untuk menilai koordinasi proteksi.

Namun, objek penelitian terdahulu umumnya adalah jaringan PT PLN, penyulang, atau transformator gardu induk. Kajian koordinasi OCR dan GFR pada jaringan distribusi 20 kV di lingkungan bandar udara, yang memiliki beban kritis dan konfigurasi *looping*, masih terbatas. Selain itu, evaluasi koordinasi proteksi secara menyeluruh pada jaringan 20 kV Terminal Internasional Bandar Udara I Gusti Ngurah Rai Bali belum pernah dilakukan melalui pemodelan sistem yang komprehensif, padahal konfigurasi jaringan telah berubah seiring pengembangan fasilitas. Kebaruan penelitian ini terletak pada penggunaan data *setting* relay SEPAM aktual yang dibaca langsung dari relay, pengaitan evaluasi dengan kejadian gangguan nyata di lapangan, serta evaluasi ganda melalui kurva TCC dan *Sequence of Operation* sebelum dan sesudah *resetting*.

Berdasarkan kesenjangan tersebut, penelitian ini bertujuan untuk: (1) menganalisis koordinasi OCR dan GFR pada kondisi eksisting jaringan distribusi 20 kV menggunakan simulasi ETAP; (2) mengevaluasi kesesuaian *setting* relay eksisting terhadap prinsip selektivitas; dan (3) menyusun rekomendasi *setting* OCR dan GFR yang lebih selektif sehingga gangguan dapat diisolasi pada bagian yang terganggu tanpa menimbulkan pemadaman yang meluas.

Penelitian Terdahulu yang Relevan

No	Penulis/ Tahun	Judul	Tujuan	Metode	Hasil	Kontribusi dan relevansi
1	Ibrahimusa et al. (2023)	Analisis koordinasi <i>setting</i> relay proteksi pada jaringan distribusi 20 kV penyulang Brenggolo di PT PLN UP3 Kediri Gardu Induk Pare	Mengevaluasi koordinasi OCR dan GFR pada jaringan distribusi 20 kV	Perhitungan <i>setting</i> dan simulasi ETAP	Parameter <i>setting</i> relay disesuaikan untuk memperoleh koordinasi proteksi yang sesuai	Acuan evaluasi OCR–GFR berbasis ETAP; belum menasar jaringan 20 kV bandar udara dan kejadian gangguan aktual
2	Albarokah (2025)	Analisis koordinasi proteksi OCR dan GFR pada penyulang Express Selama PT PLN (Persero) ULP Manna dengan software ETAP	Menganalisis koordinasi OCR dan GFR pada penyulang	Simulasi ETAP berdasarkan lokasi gangguan	Urutan kerja relay dievaluasi terhadap lokasi gangguan	Objek jaringan PLN; penelitian ini pada sistem 20 kV terminal bandar udara dengan beban operasional kritis
3	Salam & Wiyono (2023)	Analisis koordinasi proteksi OCR dan GFR untuk mengatasi gangguan hubung singkat pada transformator daya di Gardu Induk Medari	Mengkaji koordinasi OCR dan GFR pada transformator daya	Perhitungan dan evaluasi kerja relay	Kesesuaian kerja relay terhadap gangguan hubung singkat dievaluasi	Fokus transformator; penelitian ini pada jaringan distribusi dengan konfigurasi loop dan lokasi gangguan
4	Saputro et al. (2018)	Analisis koordinasi proteksi relay OCR dan	Menganalisis koordinasi	Simulasi ETAP dan	Koordinasi OCR– <i>recloser</i> dinilai	Membahas <i>recloser</i> ; penelitian ini membahas

		recloser pada penyulang SGN 04 Sanggrahan menggunakan ETAP 12.6.0	OCR dan recloser	karakteristik waktu operasi relay	melalui karakteristik waktu operasi	OCR dan GFR serta resetting dari setting eksisting
5	Multi & Addaus (2022)	Analisa proteksi OCR dan GFR pada transformator daya Gardu Induk	Mengevaluasi kesesuaian setting OCR dan GFR terhadap arus gangguan	Perhitungan manual dan simulasi ETAP	Kesesuaian setting OCR dan GFR terhadap arus gangguan dievaluasi	Fokus gardu induk; penelitian ini memakai data aktual terminal bandar udara dan kejadian gangguan

METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan metode kuantitatif dengan pendekatan studi kasus (Sugiyono, 2019). Metode kuantitatif dipilih karena koordinasi proteksi dinilai dari besaran numerik, yaitu arus beban, arus hubung singkat, dan waktu operasi relay, sedangkan pendekatan studi kasus dipilih karena analisis difokuskan pada satu sistem nyata dengan konfigurasi dan *setting* relay yang spesifik. Penelitian dilaksanakan di Bandar Udara Internasional I Gusti Ngurah Rai Bali, Kabupaten Badung, Provinsi Bali, mulai Juni 2026, pada jaringan distribusi 20 kV Terminal Internasional yang disuplai dari *Metering Kiosk II* (MK II). Populasi penelitian mencakup seluruh peralatan pada sistem distribusi 20 kV Terminal Internasional, meliputi jaringan, transformator, kabel, *Current Transformer* (CT), CB, OCR, dan GFR. Sampel penelitian ditetapkan pada jalur Substation F3 (SSF3)–Bus 2.1 karena jalur ini berkaitan dengan kejadian gangguan hubung tanah yang menunjukkan adanya permasalahan koordinasi kerja relay.

Data dikumpulkan melalui survei lapangan dan studi literatur. Survei menghasilkan *Single Line Diagram* (SLD), data *setting* OCR dan GFR yang dibaca dari relay SEPAM Schneider Electric menggunakan perangkat lunak Schneider Electric SFT2841, spesifikasi transformator, kabel, CB, dan CT, data pembebanan dari *digital power meter*, serta data gangguan. Studi literatur mencakup buku sistem proteksi, PUIL 2020, dokumen ICAO, standar IEC 60255-151, jurnal penelitian terdahulu, serta manual teknis peralatan. Pengolahan data dilakukan dalam lima tahap. Pertama, sistem dimodelkan pada perangkat lunak ETAP sesuai SLD eksisting dengan relay SEPAM 40 dari pustaka ETAP, sumber utama PT PLN (Persero), dan generator set pada kondisi *standby*. Kedua, *Load Flow Analysis* dijalankan untuk memperoleh profil tegangan, aliran daya, dan arus beban (Tiro & Ruslan, 2019); hasilnya diverifikasi dengan perhitungan manual pada BUS_MK2B menggunakan persamaan (1)–(3). Ketiga, *Short Circuit Analysis* dijalankan untuk memperoleh arus hubung singkat pada bus utama (Stevenson, 1982). Keempat, koordinasi OCR dan GFR dievaluasi melalui modul *Star-Protective Device Coordination* berupa kurva TCC dan *Sequence of Operation* dengan titik gangguan pada konektor antara CB_F3.B dan CB_2.1G di dekat BUS_F3, masing-masing untuk gangguan tiga fasa (OCR) dan satu fasa ke tanah (GFR). Kelima, apabila urutan kerja relay tidak selektif, dilakukan *resetting* nilai arus *pickup*, *Time Multiplier Setting* (TMS), dan elemen *instantaneous*, lalu model disimulasikan ulang dan hasilnya dibandingkan dengan kondisi eksisting.

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

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

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

$$t = TMS \times 0,14 / [(I / I_s)^{0,02} - 1] \quad (4)$$

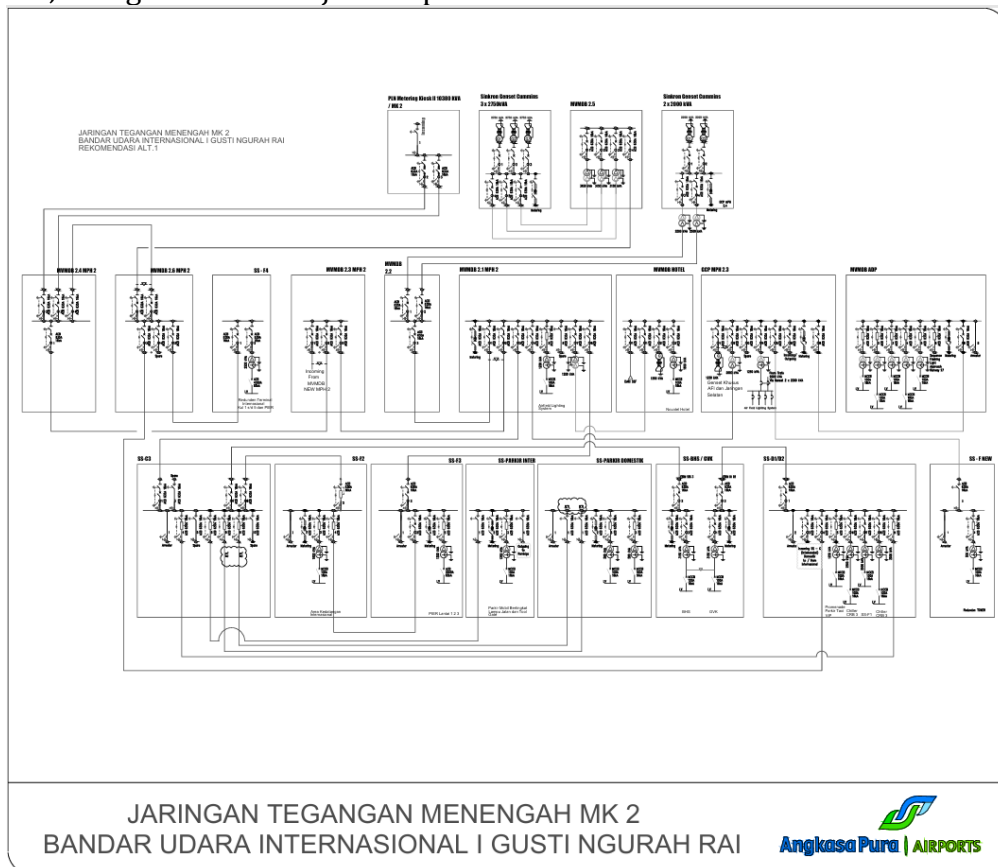
Relay OCR dan GFR eksisting menggunakan karakteristik *Standard Inverse Time* (SIT) untuk elemen waktu tunda (OCR/GFR 51) dan *Definite Time* untuk elemen *instantaneous* (OCR/GFR 50). Waktu operasi elemen SIT mengikuti persamaan (4), dengan t adalah waktu operasi, I arus gangguan, dan I_s arus *pickup* (International Electrotechnical Commission, 2009). Kriteria selektivitas yang digunakan adalah relay terdekat dengan titik gangguan harus bekerja

paling awal sebagai proteksi utama, sedangkan relay di sisi hulu bekerja dengan selang waktu (*grading time*) yang cukup sebagai proteksi cadangan; dalam penelitian ini acuan selang waktu yang digunakan adalah 0,2–0,4 detik (Horowitz & Phadke, 2014).

HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

Hasil Penelitian

Penelitian ini dilakukan pada jaringan distribusi 20 kV Terminal Internasional Bandar Udara I Gusti Ngurah Rai Bali. Sistem memperoleh suplai utama melalui *Metering Kiosk II* dari jaringan PT PLN (Persero) sebelum didistribusikan ke gardu-gardu distribusi Terminal Internasional, sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 1.



Verifikasi manual pada BUS_MK2B dengan $P = 6.101,4 \text{ kW}$, $Q = 3.224,4 \text{ kVAr}$, dan $V = 20 \text{ kV}$ menghasilkan daya semu $S = 6.899,6 \text{ kVA}$, faktor daya $0,884$, dan arus beban $I = 199,2 \text{ A}$. Nilai arus tersebut sama dengan hasil simulasi ETAP pada BUS_MK2B sehingga model dinyatakan mampu merepresentasikan kondisi eksisting. Hasil *Short Circuit Analysis* untuk gangguan tiga fasa disajikan pada Tabel 2. Arus hubung singkat terbesar terjadi pada BUS_MK2B sebesar $4,905 \text{ kA}$, sedangkan bus lainnya sebesar $4,811 \text{ kA}$, dengan selisih hanya $0,094 \text{ kA}$ (94 A).

Tabel 2. Arus Hubung Singkat Tiga Fasa pada Bus Utama

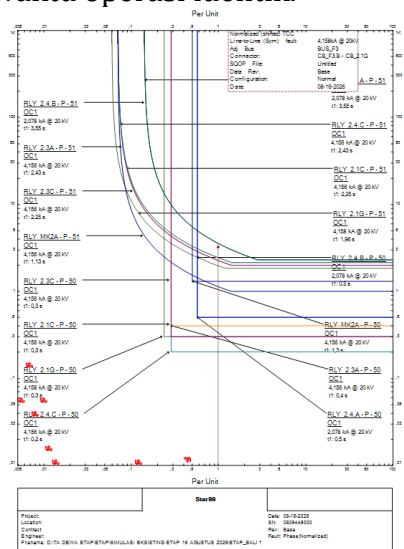
Bus ID	Tegangan Nominal (kV)	Arus Hubung Singkat (kA)
BUS_2.1, BUS_2.4, BUS_2.6	20	4,811
BUS_C3, BUS_F2, BUS_F3	20	4,811
BUS_MK2B	20	4,905

Hasil *Sequence of Operation* OCR eksisting untuk gangguan tiga fasa pada konektor CB_F3.B-CB_2.1G disajikan pada Tabel 3. Relay yang pertama bekerja adalah RLY_2.4C pada 220 ms , sedangkan RLY_2.1G yang berada paling dekat dengan titik gangguan baru bekerja pada 300 ms , bersamaan dengan RLY_2.1C dan RLY_2.3C.

Tabel 3. Sequence of Operation OCR Kondisi Eksisting

No	Relay	Fungsi	Waktu Relay (ms)	Waktu Trip CB (ms)
1	RLY_2.4C	OCR 50	220	285
2	RLY_2.1C	OCR 50	300	365
3	RLY_2.1G	OCR 50	300	365
4	RLY_2.3C	OCR 50	300	365
5	RLY_2.3A	OCR 50	400	465
6	RLY_2.4A	OCR 50	500	565
7	RLY_2.4B	OCR 50	500	565
8	RLY_MK2A	OCR 51	1.067	1.132
9	RLY_MK2A	OCR 50	1.300	1.365

Kurva TCC OCR eksisting pada Gambar 2 memperlihatkan pola yang sama. Pada elemen OCR 50, RLY_2.4C bekerja sekitar $0,2 \text{ detik}$, RLY_2.1G, RLY_2.1C, dan RLY_2.3C sekitar $0,3 \text{ detik}$, RLY_2.3A sekitar $0,4 \text{ detik}$, serta RLY_2.4A dan RLY_2.4B sekitar $0,5 \text{ detik}$. Elemen *instantaneous* relay hulu (RLY_2.4C) berada di bawah kurva relay hilir, sedangkan tiga relay pada jalur yang sama memiliki waktu operasi identik.



Gambar 2. Kurva TCC OCR Kondisi Eksisting

Pada gangguan satu fasa ke tanah di lokasi yang sama, *Sequence of Operation* GFR eksisting (Tabel 4) menunjukkan bahwa RLY_2.4C merespons lebih dahulu pada 450 ms, diikuti RLY_2.1C pada 500 ms, sedangkan RLY_2.1G baru merespons pada 600 ms. RLY_2.1G tetap bekerja lebih cepat daripada relay hulu RLY_MK2A (800 ms).

Tabel 4. Sequence of Operation GFR Kondisi Eksisting

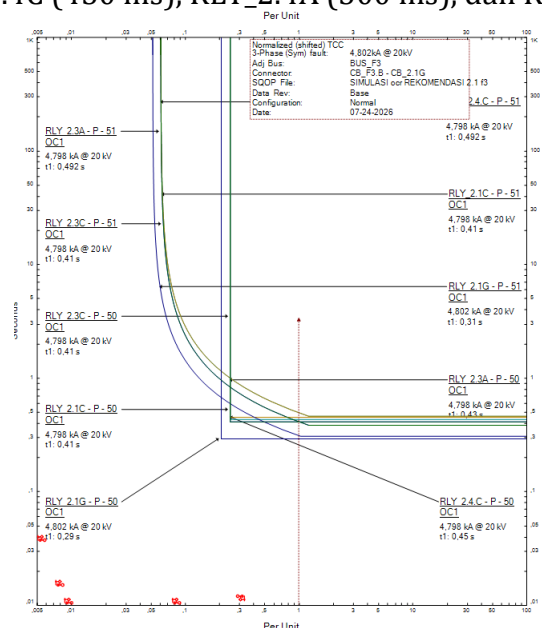
No	Waktu (ms)	Peralatan	Fungsi
1	450	RLY_2.4C	Ground OC1-50
2	500	RLY_2.4C	Ground OC1-51
3	500	RLY_2.1C	Ground OC1-50
4	515	CB_2.4C	Trip
5	556	RLY_2.1C	Ground OC1-51
6	565	CB_2.4C, CB_2.1C	Trip
7	600	RLY_2.1G, RLY_2.3C	Ground OC1-50
8	665	CB_2.1G	Trip
9	800	RLY_MK2A	Ground OC1-50
10	865	CB_MK2A	Trip

Karena urutan kerja OCR dan GFR eksisting belum selektif, dilakukan *resetting* nilai arus *pickup*, TMS, dan elemen *instantaneous*. Perbandingan waktu operasi relay sebelum dan sesudah *resetting* disajikan pada Tabel 5 dan Tabel 6.

Tabel 5. Perbandingan Waktu Operasi OCR Sebelum dan Sesudah Resetting

No	Relay	Eksisting (ms)	Resetting (ms)
1	RLY_2.1G	300	290
2	RLY_2.1C	300	410
3	RLY_2.3C	300	410
4	RLY_2.3A	400	430
5	RLY_2.4C	200	450
6	RLY_2.4A	500	500
7	RLY_2.4B	500	530

Kurva TCC OCR hasil *resetting* pada Gambar 3 tersusun bertingkat tanpa perpotongan kurva pada daerah operasi relay. Hasil *Sequence of Operation* setelah *resetting* menunjukkan bahwa RLY_2.1G bekerja pertama pada 290 ms, diikuti RLY_2.1C dan RLY_2.3C (410 ms), RLY_2.3A (430 ms), RLY_2.4C (450 ms), RLY_2.4A (500 ms), dan RLY_2.4B (530 ms).



Gambar 3. Kurva TCC OCR Hasil Resetting

Tabel 6. Perbandingan Waktu Operasi GFR Sebelum dan Sesudah Resetting

No	Relay	Eksisting (ms)	Resetting (ms)
1	RLY_2.1G	600	400
2	RLY_2.1C	500	510
3	RLY_2.3C	600	520
4	RLY_2.3A	630	530
5	RLY_2.4C	450	650

Setelah *resetting* GFR, RLY_2.1G menjadi relay pertama yang bekerja pada 400 ms dan CB_2.1G membuka pada 465 ms, kemudian RLY_2.1C, RLY_2.3C, dan RLY_2.3A bekerja berurutan pada 510, 520, dan 530 ms, diikuti RLY_2.4C pada 650 ms.

Pembahasan

Hasil *Load Flow Analysis* dan verifikasi manual menunjukkan bahwa model ETAP konsisten dengan kondisi eksisting: arus BUS_MK2B hasil perhitungan (199,2 A) sama dengan hasil simulasi, tidak ada bus yang mengalami beban lebih, dan rugi-rugi daya aktif hanya sekitar 0,7% dari daya yang disalurkan. Dengan demikian, hasil analisis gangguan dan koordinasi yang diperoleh dari model ini dapat dijadikan dasar evaluasi. Temuan utama pada kondisi eksisting adalah pelanggaran prinsip selektivitas. Untuk gangguan tiga fasa di dekat BUS_F3, relay hulu RLY_2.4C bekerja pada 220 ms, lebih cepat 80 ms daripada relay terdekat RLY_2.1G (300 ms). Selain itu, RLY_2.1G, RLY_2.1C, dan RLY_2.3C bekerja serentak pada 300 ms sehingga ketiga CB berpotensi membuka bersamaan (*simultaneous trip*). Pola serupa terjadi pada GFR: RLY_2.4C (450 ms) dan RLY_2.1C (500 ms) mendahului RLY_2.1G (600 ms). Menurut prinsip proteksi, relay terdekat dengan gangguan harus menjadi proteksi utama, sedangkan relay hulu hanya bekerja apabila proteksi utama gagal (Blackburn & Domin, 2014; Horowitz & Phadke, 2014). Urutan eksisting justru memungkinkan pemutusan pada bagian jaringan yang lebih luas dari yang diperlukan, sejalan dengan dampak gangguan 10 Oktober 2025 yang menurunkan LoS Terminal Internasional.

Penyebab ketidakselektifan tersebut dapat dijelaskan dari hasil *Short Circuit Analysis*. Arus hubung singkat pada seluruh bus hampir sama (4,811–4,905 kA; selisih 94 A) karena impedansi jaringan pada area penelitian relatif kecil. Akibatnya, relay tidak dapat dibedakan berdasarkan besar arus gangguan, sehingga selektivitas sepenuhnya bergantung pada pengaturan waktu. Pada kondisi eksisting, waktu elemen *instantaneous* (OCR/GFR 50) tidak disusun berjenjang menurut posisi relay terhadap sumber, sehingga relay hulu dengan waktu tunda lebih kecil akan bekerja lebih dahulu. Setelah *resetting*, urutan kerja relay mengikuti posisi relay terhadap titik gangguan. RLY_2.1G menjadi proteksi utama untuk gangguan fasa (290 ms) dan gangguan tanah (400 ms), dengan selang waktu terhadap relay cadangan berikutnya sebesar 120 ms (OCR) dan 110 ms (GFR). Waktu operasi RLY_2.4C yang sebelumnya paling cepat dinaikkan menjadi 450 ms (OCR) dan 650 ms (GFR) sehingga berfungsi sebagai cadangan. Kurva TCC hasil *resetting* tidak menunjukkan perpotongan kurva, sehingga setiap relay memiliki zona kerja yang jelas. Hasil ini menjawab rumusan masalah ketiga: rekomendasi *setting* yang disusun mampu mengisolasi gangguan pada bagian terdekat terlebih dahulu.

Meskipun demikian, selang waktu antarrelay cadangan masih kecil. RLY_2.1C dan RLY_2.3C bekerja serentak pada 410 ms, selisih RLY_2.3A–RLY_2.4C hanya 20 ms (OCR), dan selisih RLY_2.1C–RLY_2.3C–RLY_2.3A hanya 10 ms (GFR). Nilai ini berada di bawah acuan 0,2–0,4 detik. Waktu buka CB pada simulasi sekitar 65 ms, sehingga apabila proteksi utama gagal, beberapa relay cadangan berpotensi bekerja hampir bersamaan. Dengan kata lain, *resetting* telah memperbaiki hubungan antara proteksi utama dan cadangan pertama, tetapi penjenjangan antarrelay cadangan di sisi hulu masih perlu disempurnakan. Temuan ini sejalan dengan Ibrahimusa et al. (2023) dan Albarokah (2025) yang menunjukkan bahwa *setting* relay

perlu dievaluasi berdasarkan arus gangguan dan lokasi gangguan agar relay bekerja sesuai urutan proteksi, serta dengan Saputro et al. (2018) yang menggunakan karakteristik waktu operasi pada ETAP sebagai dasar penilaian koordinasi. Perbedaannya, penelitian ini menerapkan evaluasi tersebut pada jaringan 20 kV bandar udara dengan data *setting* relay aktual dan mengonfirmasi hasil TCC melalui *Sequence of Operation* sebelum dan sesudah *resetting*, sehingga rekomendasi yang dihasilkan dapat langsung dijadikan bahan tindak lanjut oleh pengelola bandar udara.

KESIMPULAN

Koordinasi OCR dan GFR pada kondisi eksisting jaringan distribusi 20 kV Terminal Internasional Bandar Udara I Gusti Ngurah Rai Bali belum memenuhi prinsip selektivitas. Untuk gangguan pada konektor CB_F3.B-CB_2.1G, relay hulu RLY_2.4C bekerja lebih dahulu (OCR 220 ms; GFR 450 ms) daripada relay terdekat RLY_2.1G (OCR 300 ms; GFR 600 ms), dan beberapa relay bekerja serentak. Karena arus hubung singkat pada seluruh bus hampir sama (4,811–4,905 kA), selektivitas pada jaringan ini harus dicapai melalui penjenjangan waktu. *Resetting* arus *pickup*, TMS, dan elemen *instantaneous* menghasilkan urutan kerja yang sesuai: RLY_2.1G bekerja pertama sebagai proteksi utama (OCR 290 ms; GFR 400 ms), sedangkan relay hulu bekerja bertingkat sebagai proteksi cadangan. Kontribusi penelitian ini adalah model ETAP dan rekomendasi *setting* berbasis data relay aktual untuk jaringan 20 kV bandar udara.

Penelitian ini memiliki keterbatasan, yaitu hanya menganalisis satu lokasi gangguan pada konfigurasi operasi normal dengan suplai PT PLN, dan seluruh hasil diperoleh dari simulasi. Selain itu, selang waktu antarrelay cadangan di sisi hulu setelah *resetting* masih di bawah 0,2 detik. Oleh karena itu, *setting* hasil *resetting* perlu diverifikasi melalui pengujian teknis sesuai prosedur sebelum diterapkan, dan perlu ditinjau berkala setiap ada perubahan konfigurasi, beban, atau peralatan. Penelitian selanjutnya disarankan menambah skenario lokasi gangguan dan kondisi suplai generator set, memperbesar selang waktu antarrelay hulu, serta mengkaji penggunaan relay diferensial saluran (87L) sebagai proteksi utama pada jaringan *looping* dengan OCR dan GFR sebagai proteksi cadangan.

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

DAFTAR PUSTAKA

- Albarokah, M. R. (2025). *Analisis koordinasi proteksi OCR dan GFR pada penyulang Express Selama PT. PLN (Persero) ULP Manna dengan software ETAP* [Skripsi, Universitas Sriwijaya].
- Badan Standardisasi Nasional. (2020). *Persyaratan umum instalasi listrik 2020 (PUIL 2020)*. Badan Standardisasi Nasional.
- Blackburn, J. L., & Domin, T. J. (2014). *Protective relaying: Principles and applications* (4th ed.). CRC Press.
- Horowitz, S. H., & Phadke, A. G. (2014). *Power system relaying* (4th ed.). John Wiley & Sons.
- Ibrahmusa, G. A., Joko, Wrahatnolo, T., & Agung, A. I. (2023). Analisis koordinasi setting relay proteksi pada jaringan distribusi 20 kV penyulang Brenggolo di PT. PLN UP3 Kediri Gardu Induk Pare. *Jurnal Teknik Elektro*, 12(1), 28–36.
- International Civil Aviation Organization. (2022). *Annex 14—Aerodromes, Volume I: Aerodrome design and operations*. International Civil Aviation Organization.
- International Electrotechnical Commission. (2009). *IEC 60255-151:2009: Measuring relays and protection equipment—Part 151: Functional requirements for over/under current*



protection. International Electrotechnical Commission.

- Multi, A., & Addaus, T. (2022). Analisa proteksi Over Current Relay (OCR) dan Ground Fault Relay (GFR) pada transformator daya Gardu Induk. *Sainstech: Jurnal Penelitian dan Pengkajian Sains dan Teknologi*, 32(1), 1–8.
- Salam, T. D., & Wiyono, G. (2023). Analisis koordinasi proteksi OCR dan GFR untuk mengatasi gangguan hubung singkat pada transformator daya di Gardu Induk Medari. *Seminar Nasional Teknik Elektro (SNTE)*, 1, 30–36.
- Saputro, J. M. W., Winardi, B., & Handoko, S. (2018). Analisis koordinasi proteksi relay OCR dan recloser pada penyulang SGN 04 Sanggrahan menggunakan ETAP 12.6.0. *Transient: Jurnal Ilmiah Teknik Elektro*, 7(2), 628–633.
- Stevenson, W. D. (1982). *Elements of power system analysis* (4th ed.). McGraw-Hill.
- Sugiyono. (2019). *Metode penelitian kuantitatif, kualitatif, dan R&D*. Alfabeta.
- Tiro, J., & Ruslan, L. B. (2019). Analisis penempatan transformator distribusi berdasarkan jatuh tegangan di PT PLN (Persero) ULP Malino. *Jurnal Teknologi Elekterika*, 16(2), 69–72.