

Studi Analisis Koordinasi Proteksi Recloser Patung Jeruk Dengan Recloser Limbangan Pada Wilayah Kerja PT PLN (Persero) ULP Pangkep

Krisna Dian S^{1*}, Galih Dion P², Syarifuddin Nojeng³, Muh. Yusan Naim⁴, Andi Syarifuddin⁵

^{1,2,3,4,5}Program Studi Teknik Elektro, Universitas Muslim Indonesia, Makassar, Indonesia

Email: ¹dskrisna7@gmail.com; ²galihdion110419@gmail.com; ³syarifuddin.nojeng@umi.ac.id;

⁴muhyusan.naim@umi.ac.id; ⁵asyarif@umi.ac.id

Received: 10 07 2025 | Revised: 17 07 2025 | Accepted: 02 08 2025 | Published: 30 09 2025

Abstrak

Keandalan sistem distribusi listrik bergantung pada proteksi yang mampu mendeteksi dan mengisolasi gangguan secara cepat dan selektif. Recloser adalah perangkat proteksi penting yang berfungsi menangani gangguan secara otomatis pada jaringan distribusi. Untuk memastikan gangguan ditangani secara lokal tanpa memengaruhi sistem secara luas, diperlukan koordinasi proteksi yang baik antar recloser. Penelitian ini menganalisis koordinasi proteksi antara Recloser Patung Jeruk dan Recloser Limbangan di wilayah kerja PT. PLN (Persero) ULP Pangkep. Metode yang digunakan adalah perhitungan manual dan simulasi *software* DIgSILENT berdasarkan data teknis, seperti arus gangguan, arus pickup, dan waktu kerja rele. Evaluasi koordinasi dilakukan melalui kurva karakteristik waktu-arus (*Time Current Characteristic/TCC*) dengan acuan standar IEEE. Hasil penelitian menunjukkan bahwa pengaturan *Overcurrent Relay* (OCR) pada kedua recloser telah sesuai dan mampu memberikan proteksi yang selektif terhadap gangguan fasa-ke-fasa. Namun, pengaturan *Ground Fault Relay* (GFR) pada Recloser Limbangan belum optimal dan berpotensi mengganggu selektivitas proteksi. Oleh karena itu, diperlukan penyesuaian setting pada GFR Recloser Limbangan dengan menambahkan satu tahap proteksi menggunakan karakteristik *Inverse Definite Minimum Time* (IDMT) dan menaikkan arus trip instan. Hasil akhir terdiri dari tiga tahap: $I_0 > 25 \text{ A}$ (IEC SI, TMS = 0,1), $I_0 \gg 200 \text{ A}$ (definite time, 250 ms), dan $I_0 > 220 \text{ A}$ (definite time, 0 ms). Penyesuaian ini dapat meningkatkan selektivitas proteksi dan keandalan sistem.

Kata kunci: koordinasi proteksi, recloser, digsilent, ocr, gfr

1. Pendahuluan

Energi listrik merupakan kebutuhan esensial dalam mendukung aktivitas di berbagai sektor kehidupan, seperti rumah tangga, industri, kesehatan, dan transportasi. Dalam upaya menciptakan ekosistem yang ramah lingkungan, pemanfaatan energi listrik terus ditingkatkan, termasuk melalui transformasi kendaraan berbahan bakar fosil menjadi kendaraan listrik guna menekan emisi karbon.

Dengan meningkatnya ketergantungan terhadap energi listrik, kontinuitas dan keandalan sistem distribusi menjadi sangat krusial. Namun, realitas di lapangan menunjukkan bahwa sistem distribusi listrik rentan terhadap gangguan, baik yang disebabkan oleh faktor eksternal seperti pohon dan hewan, maupun oleh kegagalan isolasi peralatan. Gangguan merupakan suatu peristiwa yang tidak normal dalam sistem tenaga listrik yang mengakibatkan mengalirnya arus yang tidak seimbang dalam sistem tiga fasa [1]. Gangguan ini dapat memicu arus hubung singkat yang berisiko merusak peralatan sistem tenaga listrik jika tidak ditangani secara cepat dan tepat. Hubung singkat merupakan gangguan yang disebabkan oleh berkurangnya kekuatan isolasi dasar antara saluran fasa atau antara saluran fasa dan bumi, yang juga dikenal sebagai lonjakan arus lebih atau gangguan arus lebih [2].

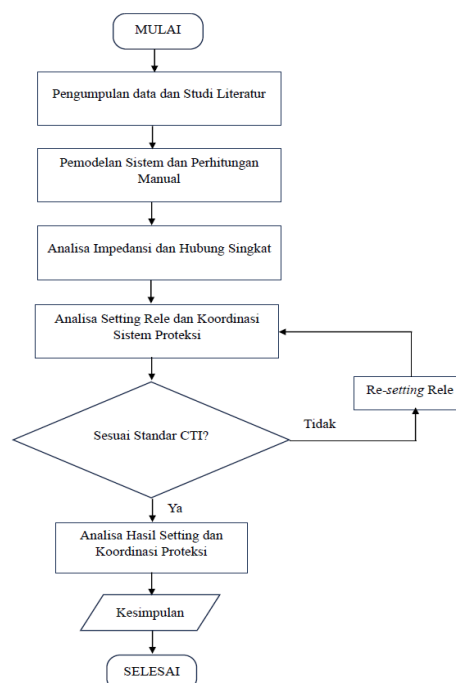
Untuk meminimalkan dampak gangguan, sistem distribusi dilengkapi dengan perangkat proteksi yang dirancang untuk memisahkan bagian sistem yang terganggu dari

bagian yang sehat. Sistem proteksi adalah suatu sistem pengamanan terhadap peralatan listrik, yang diakibatkan adanya gangguan teknis, gangguan alam, kesalahan operasi, dan penyebab yang lainnya [3]. Agar sistem proteksi bekerja optimal, diperlukan koordinasi yang baik antar perangkat proteksi. Ketidaksesuaian koordinasi dapat menyebabkan pemutusan suplai listrik yang lebih luas dari yang seharusnya. Penetapan setting pada relai arus lebih dilakukan dengan menyusun ulang pengaturannya berdasarkan kurva arus-waktu (*Time Current Curve/TCC*) pada kondisi eksisting, sehingga dalam penelitian ini disarankan pengaturan ulang relai dilakukan melalui perhitungan nilai *pickup* dan *time dial* agar memenuhi standar waktu koordinasi (*grading time*) [4].

Permasalahan ini tercermin pada kasus gangguan di penyulang Segeri, di mana Recloser Patung Jeruk gagal melokalisasi gangguan, sehingga menyebabkan Recloser Limbangan trip dan menjangkau area pemadaman yang lebih luas. Berdasarkan kondisi tersebut, penelitian ini dilakukan dengan judul “Studi Analisis Koordinasi Proteksi Recloser Patung Jeruk dengan Recloser Limbangan pada Wilayah Kerja PT PLN (Persero) ULP Pangkep”, guna mengevaluasi kinerja koordinasi proteksi dan memberikan rekomendasi perbaikan. Perbaikan pengaturan proteksi dengan penyesuaian *grading time* dilakukan untuk memastikan koordinasi proteksi yang andal, sebagaimana diatur dalam standar IEEE 242, yang merekomendasikan adanya perbedaan waktu minimum 0,2 hingga 0,4 detik antara perangkat proteksi *upstream* dan *downstream* [5].

2. Metode

Dalam riset ini, penulis menggunakan metode perhitungan manual dan simulasi *software* DIgSILENT berdasarkan data teknis, seperti luas penampang JTM, data impedansi, arus gangguan, arus *pickup*, data setting eksisting pada recloser dan waktu kerja rele. Evaluasi koordinasi dilakukan melalui kurva karakteristik waktu-arus (*Time Current Characteristic/TCC*) dengan acuan standar IEEE. Proses penelitian ini dapat digambarkan dalam diagram alir sebagai berikut.

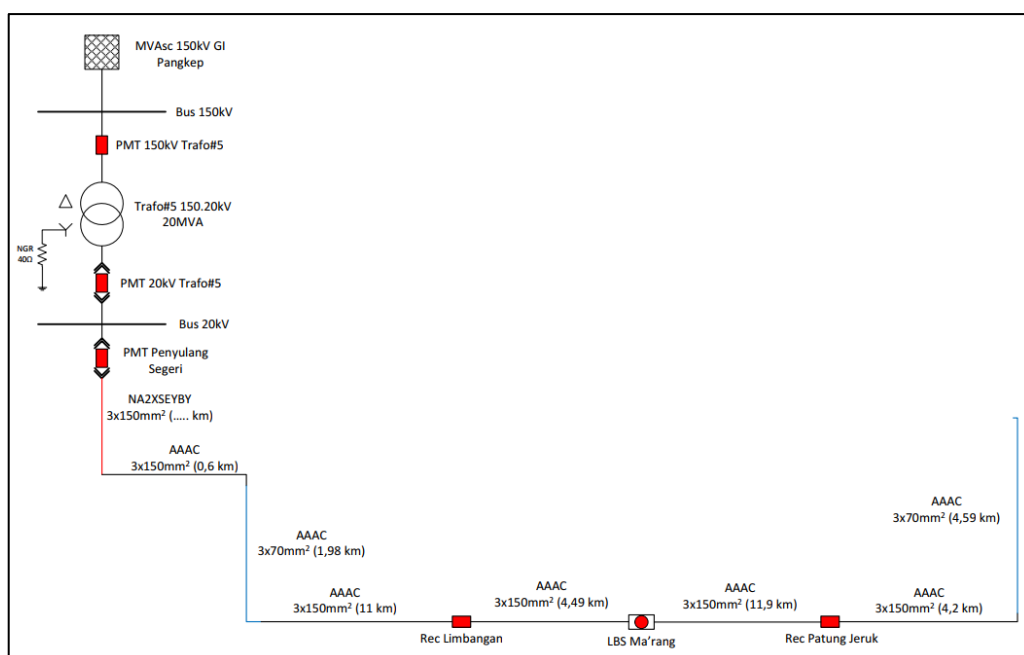


Gambar 1. Diagram Alir Penelitian

3. Hasil dan Pembahasan

Unit Pelaksana Pelayanan Pelanggan (UP3) Makassar Utara merupakan bagian dari PT PLN (Persero) di bawah Unit Induk Distribusi (UID) Sulawesi Selatan, Tenggara, dan Barat, yang membawahi empat Unit Layanan Pelanggan (ULP), yaitu ULP Karebosi dan ULP Daya untuk sebagian wilayah Kota Makassar, serta ULP Maros dan ULP Pangkep untuk wilayah Kabupaten Maros dan Pangkajene Kepulauan. Penelitian ini difokuskan pada wilayah kerja ULP Pangkep, dengan studi kasus koordinasi proteksi antara Recloser Patung Jeruk dan Recloser Limbangan. ULP Pangkep disuplai dari Gardu Induk (GI) Pangkep yang memiliki tiga tingkat tegangan, yaitu 150 kV (terhubung ke GI Kima, GI Bosowa, dan GI Balusu/PLTU Barru), 70 kV (melalui IBT#1 dan IBT#2 yang terhubung ke GI Tonasa), serta 20 kV yang disuplai melalui Trafo#3, Trafo#4, dan Trafo#5 sebagai outgoing feeder untuk Kabupaten Pangkep. Recloser Patung Jeruk dan Recloser Limbangan mendapat suplai dari Penyulang Segeri melalui Trafo#5 150/20 kV 20 MVA dengan sistem pentanahan tahanan rendah menggunakan Neutral Grounding Resistor (NGR) 40 ohm. Berdasarkan zona proteksi, Penyulang Segeri dibagi menjadi tiga zona, yaitu PMT Penyulang Segeri (zona I), Recloser Limbangan (zona II), dan Recloser Patung Jeruk (zona III).

Untuk mempermudah analisis konfigurasi Penyulang Segeri, Peta Jaringan dimodelkan dalam bentuk Diagram Satu Garis (*Single Line Diagram*). Pemodelan difokuskan pada penghantar utama (*mainline*) yang relevan dengan perhitungan koordinasi proteksi antara Recloser Limbangan dan Recloser Patung Jeruk.



Gambar 2. *Single Line Diagram* Penyulang Segeri

MVAsc 150kV GI Pangkep merupakan impedansi sumber yang mewakili konfigurasi sistem kelistrikan dari pembangkit yang interkoneksi pada sistem sulbagsel hingga ke Bus 150kV GI Pangkep. Dari Bus 150kV, sistem ditransformasikan dari Tegangan Tinggi menjadi Tegangan Menengah melalui Trafo#5 20MVA dengan konfigurasi Dyn5 yang menggunakan sistem pentanahan tahanan rendah 40 Ohm. Untuk mempermudah proses perhitungan, sistem dibagi menjadi tiga zona, yaitu: Zona 1 (pangkal hingga Recloser

Limbangan), Zona 2 (Recloser Limbangan hingga Recloser Patung Jeruk), dan Zona 3 (Recloser Patung Jeruk hingga ujung penyulang).

Berdasarkan hasil perhitungan manual dan pembagian zona pada Penyulang Segeri, diperoleh nilai impedansi penghantar dalam satuan per unit (pu) untuk masing-masing segmen. Nilai-nilai ini selanjutnya digunakan untuk menentukan impedansi urutan positif, impedansi urutan negatif, dan impedansi urutan nol pada setiap zona. Nilai hasil perhitungan impedansi penghantar dalam satuan per unit (pu), serta impedansi total urutan positif, negatif, dan nol disajikan sebagai berikut.

Tabel 1. Impedansi Penghantar dalam pu.

Zona	Total Penghantar (kms)	$R_{1,2}(\text{pu})$	$jX_{1,2}(\text{pu})$	$R_0(\text{pu})$	$jX_0(\text{pu})$
Zona 1	13,68	0,9098	1,3495	1,4612	6,1342
Zona 2	16,39	0,9405	1,6104	1,5885	7,3799
Zona 3	8,79	0,7903	0,8922	1,1378	3,6598

Tabel 2. Impedansi Total Urutan Positif.

Zona	$R_1(\text{pu})$	$jX_1(\text{pu})$	$Z_1(\text{pu})$	$Z_1(\text{Ohm})$ $Z_{\text{base } 20\text{kV}}=3,6598 \text{ Ohm}$
Zona 1	0,9208	2,0805	$2,2752 \angle 66,13^\circ$	$8,3268 \angle 66,13^\circ$
Zona 2	1,8613	3,6909	$4,1337 \angle 63,24^\circ$	$15,1285 \angle 63,24^\circ$
Zona 3	2,6516	4,5831	$5,2949 \angle 59,95^\circ$	$19,3783 \angle 59,95^\circ$

Tabel 3. Impedansi Total Urutan Negatif.

Zona	$R_2(\text{pu})$	$jX_2(\text{pu})$	$Z_2(\text{pu})$	$Z_2(\text{Ohm})$ $Z_{\text{base } 20\text{kV}}=3,6598 \text{ Ohm}$
Zona 1	0,9198	2,0805	$2,2748 \angle 66,15^\circ$	$8,3253 \angle 66,15^\circ$
Zona 2	1,8603	3,6909	$4,1332 \angle 63,25^\circ$	$15,1267 \angle 63,25^\circ$
Zona 3	2,6506	4,5831	$5,2944 \angle 59,96^\circ$	$19,3764 \angle 59,96^\circ$

Tabel 4. Impedansi Total Urutan Nol.

Zona	$R_2(\text{pu})$	$jX_2(\text{pu})$	$Z_2(\text{pu})$	$Z_2(\text{Ohm})$ $Z_{\text{base } 20\text{kV}}=3,6598 \text{ Ohm}$
Zona 1	34,2541	6,3179	$34,8319 \angle 10,45^\circ$	$127,4778 \angle 10,45^\circ$
Zona 2	35,8426	13,6978	$38,3708 \angle 20,92^\circ$	$140,4294 \angle 20,92^\circ$
Zona 3	36,9804	17,3576	$40,8514 \angle 26,14^\circ$	$149,5079 \angle 26,14^\circ$

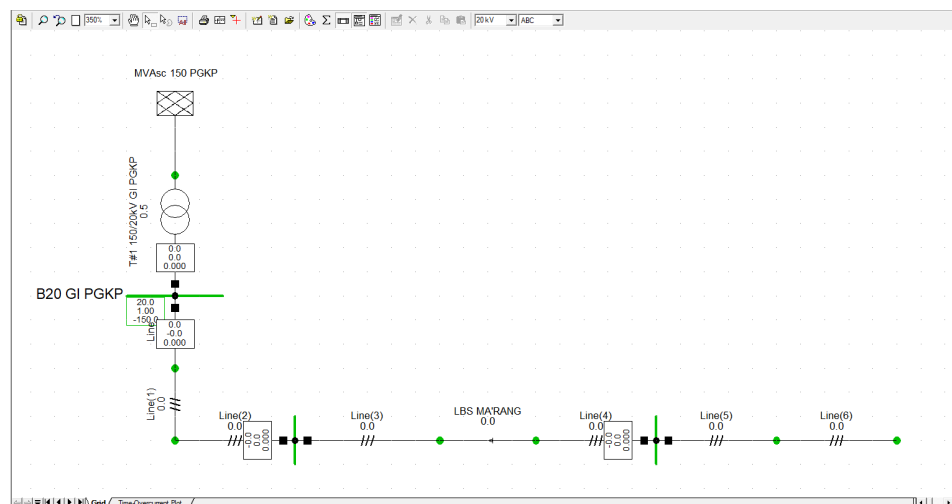
Nilai impedansi yang telah diperoleh digunakan untuk menghitung arus hubung singkat pada masing-masing zona. Adapun nilai arus hubung singkat untuk setiap zona disajikan sebagai berikut.

Tabel 5. Hasil Perhitungan Arus Hubung Singkat.

Zona	Panjang Jaringan (%)	Jarak (m)	Arus Hubung Singkat (A)		
			3 Fasa	2 Fasa	1 Fasa
Zona 1	35	13.680	1.386,73	1.210,08	252,12
Zona 2	77	30.070	763,26	662,98	211,38
Zona 3	100	38.860	595,87	516,04	189,85

Berdasarkan Tabel 5, arus gangguan hubung singkat dipengaruhi oleh jarak titik gangguan terhadap sumber. Semakin jauh lokasi gangguan, semakin kecil nilai arus gangguan yang terjadi, dan sebaliknya. Selain itu, dari jenis gangguan terhadap fasa, arus hubung singkat terbesar terjadi pada gangguan tiga fasa.

Seiring dengan perkembangan perangkat lunak analisis sistem tenaga listrik, salah satu *software* yang banyak digunakan adalah DIgSILENT PowerFactory. Dalam penelitian ini, untuk membandingkan hasil perhitungan manual dengan simulasi berbantuan perangkat lunak, sistem juga dimodelkan dan disimulasikan menggunakan DIgSILENT. Adapun hasil pemodelan sistem pada perangkat lunak tersebut disajikan sebagai berikut.



Gambar 3. Pemodelan Sistem dalam *Software* DIgSILENT

Pemodelan sistem tersebut hanya berfokus pada Penyulang Segeri, sehingga secara sederhana hanya berisi berurut dari atas adalah sebagai berikut: MVAsc PGKP adalah impedansi sumber di sisi 150kV GI Pangkep berdasarkan data indeks hubung singkat Sulbagsel tahun 2024, T#1 150/20kV GI Pangkep adalah trafo daya 150/20kV yang menyuplai Penyulang Segeri, B20 GI PGKP adalah Busbar 20kV output dari Trafo Daya GI Pangkep yang menyuplai penyulang-penyulang keluaran dari GI, Line merupakan penghantar yang digunakan pada penyulang tersebut. Dalam penelitian ini hanya dimodelkan bagian mainline Penyulang Segeri yang memiliki korelasi terhadap perhitungan koordinasi sistem proteksi antara Recloser Limbangan dengan recloser Patung Jeruk dan disesuaikan dengan penampang dan jenis penghantar, Busbar yang berada diantara line mewakili pemodelan recloser, sehingga terdapat 2 busbar yang mewakili Recloser Limbangan dan Recloser Patung Jeruk, Load Break Switch Disconnecter pada pemodelan tersebut merupakan penggambaran dari LBS Ma'rang yang berada di antara Recloser Limbangan dan Recloser Patung Jeruk.

Dalam pemodelan sistem, setiap parameter elemen harus diperhatikan secara cermat agar simulasi yang dilakukan mendekati atau ekuivalen dengan kondisi sistem aktual. Setelah seluruh parameter dimasukkan sesuai dengan data aset terpasang di lapangan, diperoleh hasil simulasi arus hubung singkat untuk masing-masing zona sebagai berikut.

Tabel 6. Hasil Simulasi Arus Hubung Singkat dengan *Software* DIgSILENT.

Zona	Panjang Jaringan (%)	Jarak (m)	Arus Hubung Singkat (A)		
			3 Fasa	2 Fasa	1 Fasa
Zona 1	35	13.680	1.380	1.195	248
Zona 2	77	30.070	741	642	211
Zona 3	100	38.860	574	497	189

Untuk memudahkan perbandingan antara nilai arus hubung singkat hasil perhitungan manual dan hasil simulasi, data disajikan dalam tabel berikut. Isc adalah arus hubung singkat.

Tabel 7. Perbandingan Arus Hubung Singkat antara Perhitungan dan Simulasi.

Zona	Isc 2 Fasa (A)		Isc 2 Fasa (A)		Isc 1 Fasa (A)	
	Simulasi	Simulasi	Perhitungan	Simulasi	Perhitungan	Simulasi
Zona 1	1.386,73	1.380	1.210,08	1.195	252,12	248
Zona 2	763,26	741	662,98	642	211,38	211
Zona 3	595,87	574	516,04	497	189,85	189

Berdasarkan tabel di atas, terdapat perbedaan nilai arus hubung singkat antara hasil perhitungan manual dan hasil simulasi. Meskipun demikian, perbedaan tersebut relatif kecil dan tidak signifikan, sehingga kedua metode tetap dapat dijadikan acuan dalam perhitungan koordinasi sistem proteksi pada Recloser Limbangan dan Recloser Patung Jeruk. Perbedaan ini dimungkinkan terjadi akibat pembulatan angka desimal pada perhitungan manual yang, jika terakumulasi, menghasilkan deviasi lebih besar, sementara perangkat lunak mampu mempertahankan ketelitian nilai desimal secara lebih akurat melalui komputasi numerik.

Adapun data setting relay proteksi pada Recloser Limbangan, dan Recloser Patung Jeruk adalah sebagai berikut:

Tabel 8. *Setting* Proteksi Recloser Limbangan

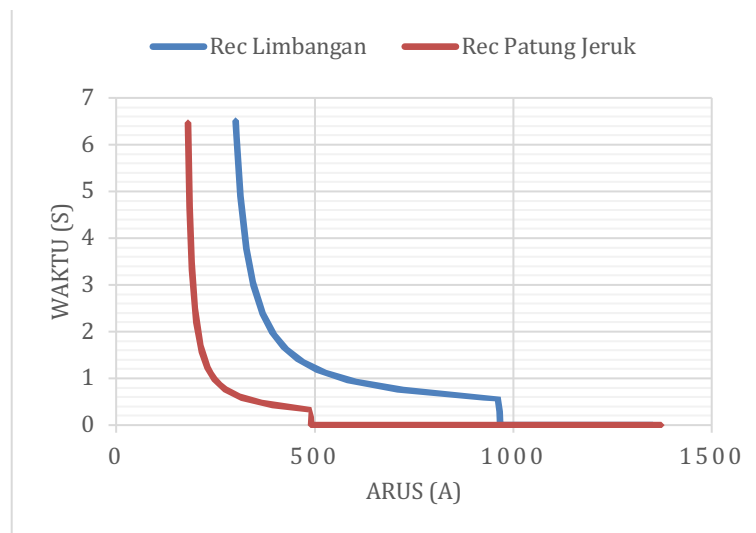
<i>Keypoint</i> : Recloser Limbangan Merk/Seri: Prima Inti EPIC-R300 Rasio CT: 1000/1	
<i>Setting</i> OCR	<i>Setting</i> GFR
Stage 1	Stage 1
$I > : 300A$	$I_0 > : 25 A$
Kurva: IEC SI	Kurva : IEC SI
TMS : 0,1	TMS : 0,1
Stage 2	Stage 2
$I >> : 1000A$	$I_0 >> : 200 A$
TD : 0ms (<i>Definite</i>)	TD : 0ms (<i>Instant</i>)

Tabel 9. *Setting* Proteksi Recloser Patung Jeruk

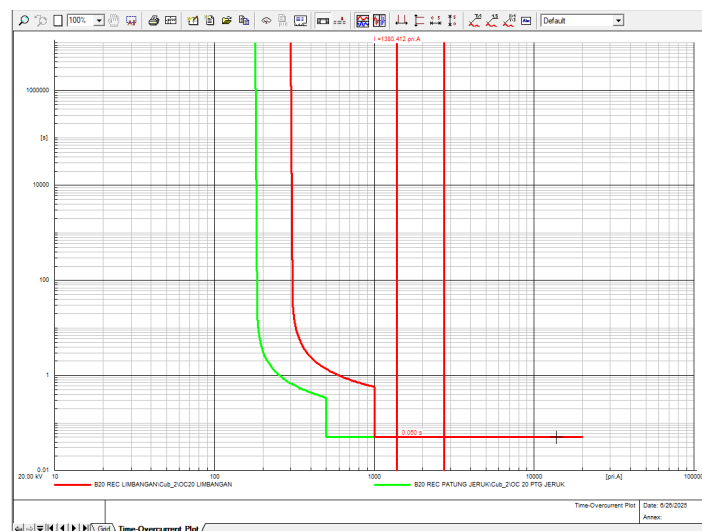
<i>Keypoint</i> : Recloser Patung Jeruk Merk/Seri: ENTEC EVRC200 Rasio CT: 1000/1	
<i>Setting</i> OCR	<i>Setting</i> GFR
Stage 1	Stage 1
$I > : 180A$	$I_0 > : 15 A$
Kurva: IEC SI	Kurva : IEC SI
TMS : 0,05	TMS : 0,05
Stage 2	Stage 2
$I >> : 500A$	$I_0 >> : 100 A$
TD : 0ms (<i>Definite</i>)	TD : 0ms (<i>Instant</i>)

Setelah diperoleh hasil perhitungan impedansi dan arus hubung singkat pada tiap zona, dilakukan analisis koordinasi setting proteksi arus gangguan lebih (OCR) dan arus

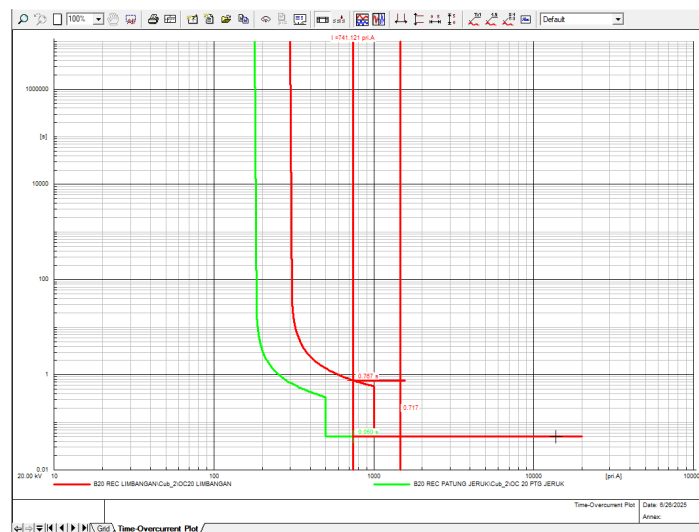
gangguan ke tanah (GFR) menggunakan data setting eksisting pada Recloser Limbangan dan Recloser Patung Jeruk. Kurva koordinasi OCR dan GFR disusun untuk mengevaluasi apakah proteksi telah berkoordinasi dengan baik. Selanjutnya, waktu kerja rele diperiksa berdasarkan arus gangguan yang dihitung, dan jika ditemukan setting yang tidak terkoordinasi, dilakukan penyesuaian sesuai standar *Coordination Time Interval* (CTI). Pembahasan berikut menguraikan hasil perhitungan dan simulasi koordinasi proteksi antara kedua recloser tersebut.



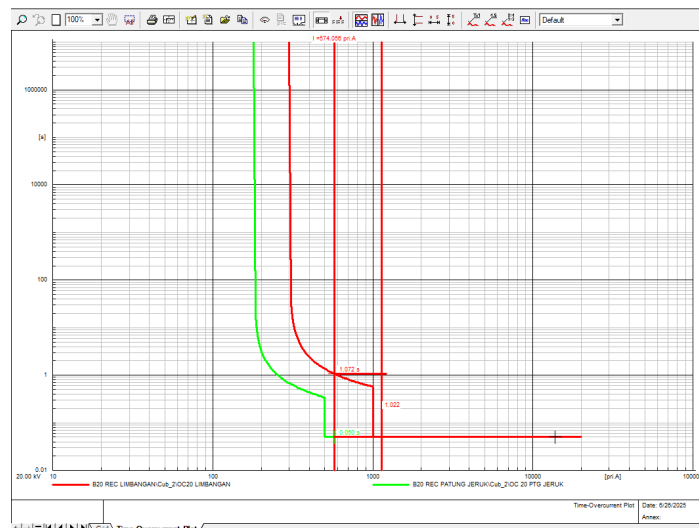
Gambar 4. Kurva Koordinasi Proteksi OCR



Gambar 5. Kurva Koordinasi Proteksi OCR pada Simulasi Hubung Singkat 3 Fasa Zona 1 (Rec Limbangan)



Gambar 6. Kurva Koordinasi Proteksi OCR pada Simulasi Hubung Singkat 3 Fasa Zona 2 (Patung Jeruk)



Gambar 7. Kurva Koordinasi Proteksi OCR pada Simulasi Hubung Singkat 3 Fasa Zona 3 (Ujung Jaring)

Dapat dilihat pada Gambar 4, 5, 6 dan 7 bahwa kurva koordinasi proteksi OCR antara Recloser Limbangan dengan Recloser Patung Jeruk berada pada kategori aman, hal ini ditunjukkan dengan posisi garis kurva Recloser Limbangan tidak berhimpitan ataupun memotong kurva Recloser Patung Jeruk. Setelah mengamati grafik kurva koordinasi OCR, selanjutnya perlu mengecek kesesuaian koordinasi waktu trip sesuai dengan perhitungan arus gangguan hubung singkat pada Zona 1, Zona 2 dan Zona 3. Berikut ini adalah tabel waktu kerja rele pada gangguan 3 fasa.

Tabel 10. Waktu Kerja Rele pada Gangguan 3 Fasa Berdasarkan Perhitungan.

Zona	Panjang Jaringan (%)	Arus Gangguan 3 Fasa (A)	Waktu Kerja Rele (detik)		Selisih Waktu (detik)	Sesuai Standar CTI (>0,2s)
			Rec Limbangan	Rec Patung Jeruk		
Zona 1	35	1.386,73	0 (instan)	Tidak Trip (Bukan daerah proteksi)	-	-
Zona 2	77	763,26	0,74	0 (instan)	0,74	Ya
Zona 3	100	595,87	1,01	0 (instan)	1,01	Ya

Tabel 11. Waktu Kerja Rele pada Gangguan 3 Fasa Berdasarkan Simulasi.

Zona	Panjang Jaringan (%)	Arus Gangguan 3 Fasa (A)	Waktu Kerja Rele (detik)		Selisih Waktu (detik)	Sesuai Standar CTI (>0,2s)
			Rec Limbangan	Rec Patung Jeruk		
Zona 1	35	1.380	0 (instan)	Tidak Trip (Bukan daerah proteksi)	-	-
Zona 2	77	741	0,767	0,05 (instan)	0,717	Ya
Zona 3	100	574	1,072	0,05 (instan)	1,022	Ya

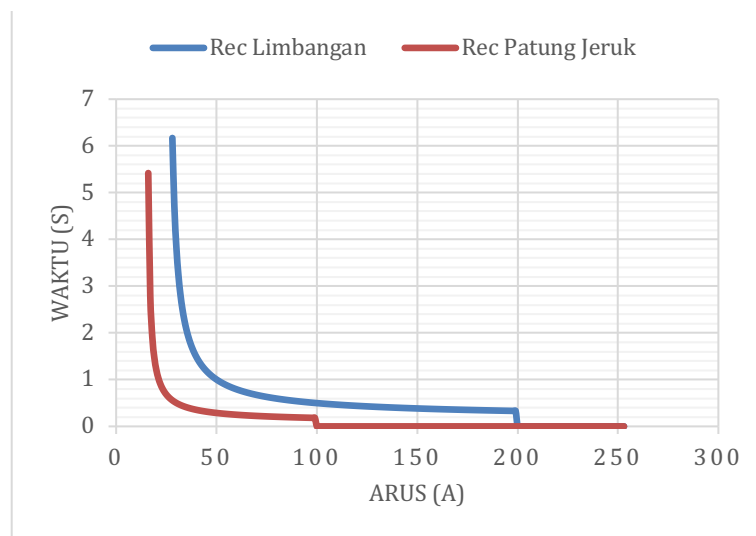
Pada kedua tabel di atas terlihat bahwa pada gangguan tiga fasa, terdapat perbedaan waktu trip yang cukup besar antara Recloser Limbangan dan Recloser Patung Jeruk. Selisih waktu (*grading time*) antara Recloser Limbangan dan Recloser Patung Jeruk sudah sesuai dengan standar CTI Rele Statis yaitu lebih dari 0,2 detik. Sehingga dapat dikatakan bahwa setting OCR eksisting Recloser Limbangan dan Recloser Patung Jeruk dapat berkoordinasi dengan baik pada gangguan 3 fasa.

Selanjutnya yaitu melakukan pengecekan waktu kerja rele pada gangguan 2 fasa yang dapat dilihat pada tabel berikut.

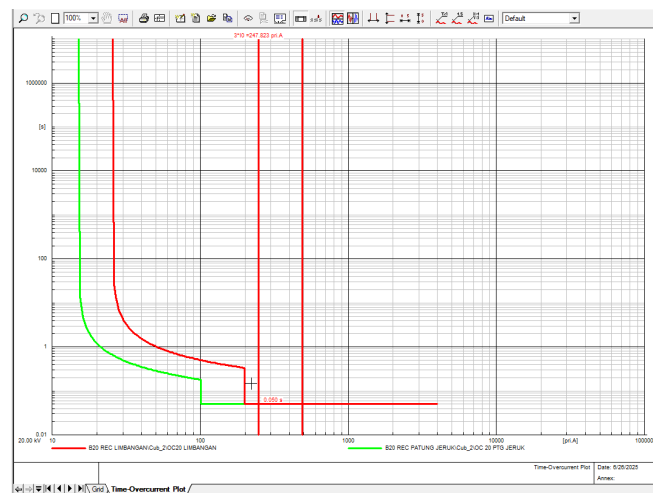
Tabel 12. Waktu Kerja Rele pada Gangguan 3 Fasa Berdasarkan Perhitungan.

Zona	Panjang Jaringan (%)	Arus Gangguan 3 Fasa (A)	Waktu Kerja Rele (detik)		Selisih Waktu (detik)	Sesuai Standar CTI (>0,2s)
			Rec Limbangan	Rec Patung Jeruk		
Zona 1	35	1.210,08	0 (instan)	Tidak Trip (Bukan daerah proteksi)	-	-
Zona 2	77	662,98	0,88	0 (instan)	0,88	Ya
Zona 3	100	516,04	1,28	0 (instan)	1,28	Ya

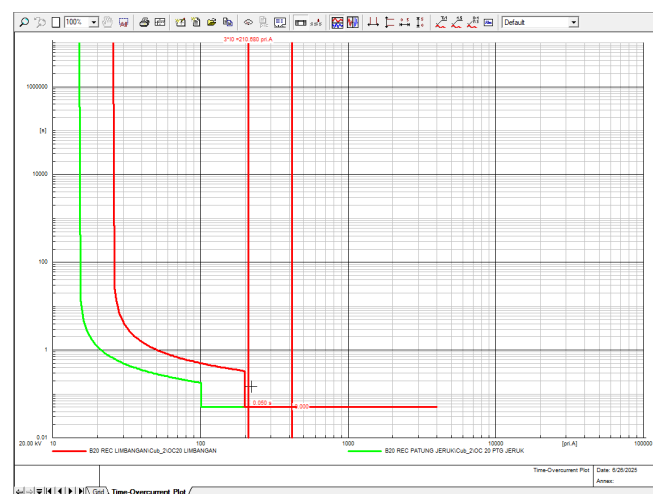
Berdasarkan Tabel 12 pada kondisi gangguan dua fasa, terdapat perbedaan waktu trip yang cukup besar juga antara Recloser Limbangan dan Recloser Patung Jeruk. Selisih waktu (*grading time*) antara Recloser Limbangan dan Recloser Patung Jeruk sudah sesuai dengan standar CTI Rele Statis yaitu lebih dari 0,2 detik. Hal ini menunjukkan bahwa setting OCR eksisting pada kedua recloser telah terkoordinasi dengan baik dalam menangani gangguan tersebut.



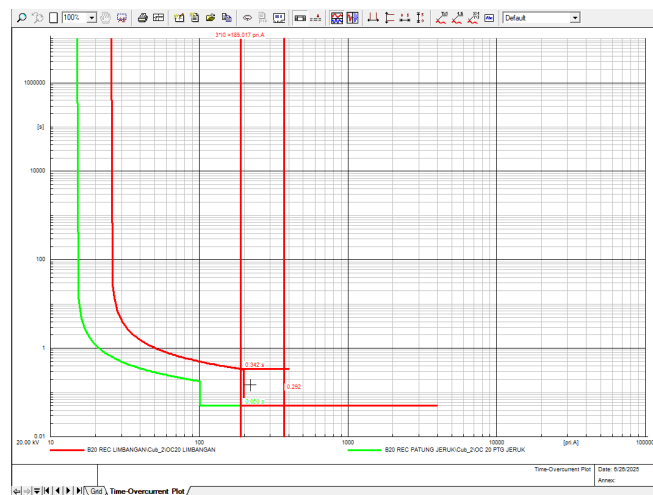
Gambar 8. Kurva Koordinasi Proteksi GFR



Gambar 9. Kurva Koordinasi Proteksi GFR pada Simulasi Hubung Singkat 1 Fasa ke Tanah Zona 1



Gambar 10. Kurva Koordinasi Proteksi GFR pada Simulasi Hubung Singkat 1 Fasa ke Tanah Zona 2



Gambar 11. Kurva Koordinasi Proteksi GFR pada Simulasi Hubung Singkat 1 Fasa ke Tanah Zona 3

Berdasarkan grafik tersebut dapat diamati bahwa pada saat nilai arus hubung singkat (I_{hs}) di atas 200 A, rele gangguan tanah (GFR) baik pada recloser limbangan maupun recloser patung jeruk mempunyai waktu trip yang sama yaitu 0 detik. Setelah dilakukan pengamatan terhadap grafik kurva koordinasi GFR, langkah selanjutnya adalah melakukan verifikasi kesesuaian koordinasi waktu trip berdasarkan hasil perhitungan arus gangguan hubung singkat pada Zona 1, Zona 2, dan Zona 3. Berikut ini adalah tabel waktu kerja rele pada gangguan 1 fasa ke tanah.

Tabel 13. Waktu Kerja Rele pada Gangguan 1 Fasa ke Tanah Berdasarkan Perhitungan.

Zona	Panjang Jaringan (%)	Arus Gangguan 3 Fasa (A)	Waktu Kerja Rele (detik)		Selisih Waktu (detik)	Sesuai Standar CTI (>0,2s)
			Rec Limbangan	Rec Patung Jeruk		
Zona 1	35	252,12	0 (instan)	Tidak Trip (Bukan daerah proteksi)	-	-
Zona 2	77	211,38	0 (instan)	0 (instan)	0	Tidak
Zona 3	100	189,85	0,34	0 (instan)	0,34	Ya

Tabel 14. Waktu Kerja Rele pada Gangguan 1 Fasa ke Tanah Berdasarkan Perhitungan.

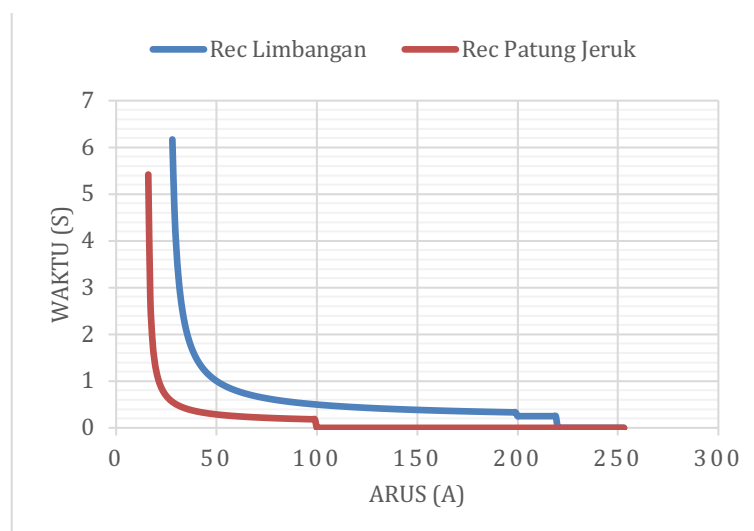
Zona	Panjang Jaringan (%)	Arus Gangguan 3 Fasa (A)	Waktu Kerja Rele (detik)		Selisih Waktu (detik)	Sesuai Standar CTI (>0,2s)
			Rec Limbangan	Rec Patung Jeruk		
Zona 1	35	247	0 (instan)	Tidak Trip (Bukan daerah proteksi)	-	-
Zona 2	77	211	0,05 (instan)	0,05 (instan)	0	Tidak
Zona 3	100	189	0,342	0,05 (instan)	0,292	Ya

Berdasarkan kedua tabel tersebut di atas, dapat dilihat bahwa ketika terjadi gangguan satu fasa ke tanah pada Zona 2 (wilayah proteksi Recloser Patung Jeruk), baik Recloser Patung Jeruk maupun Recloser Limbangan mengalami trip secara instan (0 detik). Selisih waktu trip (grading time) antara Recloser Limbangan dan Recloser Patung Jeruk tidak memenuhi standar CTI Rele Statis atau kurang dari 0,2 detik. Dengan demikian proteksi GFR Recloser Patung Jeruk tidak terkoordinasi dengan baik karena menembus hingga ke Recloser Limbangan pada gangguan satu fasa ke tanah di Zona 2.

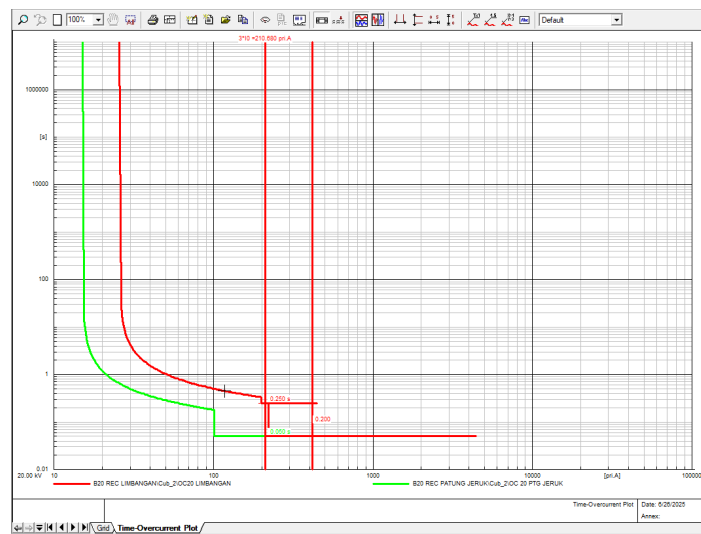
Diperlukan perbaikan setting proteksi gangguan tanah (GFR) pada Recloser Limbangan agar tidak ikut trip saat terjadi gangguan di wilayah kerja Recloser Patung Jeruk. Penyesuaian dilakukan dengan meningkatkan nilai arus GFR instan dan mengatur ulang waktu tunda pemutusan (*grading time*) guna memberikan kesempatan Recloser Patung Jeruk bekerja lebih dahulu dalam mengatasi gangguan di Zona 2. Upaya ini bertujuan menjamin koordinasi proteksi yang selektif dan andal sesuai standar IEEE 242, yang merekomendasikan perbedaan waktu kerja minimum 0,2–0,4 detik antara perangkat proteksi *upstream* dan *downstream*. Penyesuaian dapat diterapkan melalui karakteristik *Inverse Definite Minimum Time* (IDMT) dengan menambahkan satu tahap proteksi menggunakan waktu tunda definite dan menaikkan setting arus instan GFR. Adapun setting eksisting Recloser Limbangan hanya memiliki dua tahap, yakni kurva standar inverse dan kurva definite dengan waktu trip instan (0 detik), sehingga perlu dimodifikasi agar Recloser Limbangan tidak bekerja bersamaan dengan Recloser Patung Jeruk dalam menangani gangguan GFR.

Langkah penambahan tahapan proteksi GFR menggunakan karakteristik Rele Inverse Definite Minimum Time (IDMT) terdiri dari tiga tahap, yaitu: Tahap 1 menggunakan setting eksisting dengan $I_0 > 25$ A, kurva IEC SI, dan TMS 0,1; Tahap 2 menggunakan setting *Definite Time* dengan $I_0 >> 200$ A dan *time delay* 250 ms, disesuaikan dengan standar *Coordination Time Interval* (CTI) sebesar 0,2–0,4 detik; dan Tahap 3 menggunakan setting *Definite Time* instan (0 ms) dengan $I_0 >>> 220$ A, yang dipilih di antara nilai arus hubung singkat Zona 2 Recloser Patung Jeruk (211,38 A) dan Zona 1 Recloser Limbangan (252,12 A), agar tetap selektif dan tidak terjadi *overlap* kerja antar recloser.

Berikut ini adalah kurva koordinasi proteksi rele gangguan tanah (GFR) setelah dilakukan penyesuaian waktu tunda pemutusan (*grading time*) dengan menggunakan karakteristik Rele Inverse Definite Minimum Time (IDMT).



Gambar 12. Kurva Koordinasi Proteksi GFR setelah dilakukan Penyesuaian



Gambar 13. Kurva Koordinasi Proteksi GFR pada Simulasi Hubung Singkat 1 Fasa ke Tanah setelah dilakukan Penyesuaian

Berdasarkan grafik tersebut dapat diamati bahwa pada saat nilai arus hubung singkat (I_{hs}) di atas 200 A, rele gangguan tanah (GFR) pada recloser limbangan tidak lagi trip instan, akan tetapi masih memiliki jeda waktu sampai dengan arus di bawah 220A. Recloser Limbangan akan trip instan pada saat arus gangguan mulai dari 220 A ke atas. Setelah dilakukan pengamatan terhadap grafik kurva koordinasi GFR, langkah selanjutnya adalah melakukan verifikasi kembali kesesuaian koordinasi waktu trip berdasarkan hasil perhitungan arus gangguan hubung singkat pada Zona 1, Zona 2, dan Zona 3. Berikut ini adalah tabel waktu kerja rele pada gangguan 1 fasa ke tanah setelah dilakukan penyesuaian.

Tabel 15. Waktu Kerja Rele pada Gangguan 1 Fasa ke Tanah Berdasarkan Perhitungan setelah Penyesuaian.

Zona	Panjang Jaringan (%)	Arus Gangguan 3 Fasa (A)	Waktu Kerja Rele (detik)		Selisih Waktu (detik)	Sesuai Standar CTI (>0,2s)
			Rec Limbangan	Rec Patung Jeruk		
Zona 1	35	252,12	0 (instan)	Tidak Trip (Bukan daerah proteksi)	-	-
Zona 2	77	211,38	0,25	0 (instan)	0,25	Ya
Zona 3	100	189,85	0,342	0,05 (instan)	0,292	Ya

Tabel 16. Waktu Kerja Rele pada Gangguan 1 Fasa ke Tanah Berdasarkan Simulasi setelah Penyesuaian.

Zona	Panjang Jaringan (%)	Arus Gangguan 3 Fasa (A)	Waktu Kerja Rele (detik)		Selisih Waktu (detik)	Sesuai Standar CTI (>0,2s)
			Rec Limbangan	Rec Patung Jeruk		
Zona 1	35	247	0 (instan)	Tidak Trip (Bukan daerah proteksi)	-	-
Zona 2	77	211	0,25	0,05 (instan)	0,2	Ya
Zona 3	100	189	0,34	0 (instan)	0,34	Ya

Berdasarkan Tabel 4.23 dan Tabel 4.24 terlihat bahwa setelah dilakukan penyesuaian pada setting GFR Recloser Limbangan, pada kondisi gangguan fasa ke tanah, terdapat perbedaan waktu trip yang signifikan antara Recloser Limbangan dan Recloser Patung Jeruk. Selisih waktu pemutusan (grading time) antara kedua recloser tersebut telah memenuhi ketentuan standar CTI untuk rele statis, yaitu lebih dari 0,2 detik. Dengan demikian,

pengaturan GFR pada Recloser Limbangan dan Recloser Patung Jeruk dapat dikatakan telah berkoordinasi dengan baik dalam menghadapi gangguan fasa ke tanah.

4. Kesimpulan dan Saran

Hasil studi analisis koordinasi proteksi antara Recloser Patung Jeruk dan Recloser Limbangan di wilayah kerja PT PLN (Persero) UP3 Makassar Utara menunjukkan bahwa arus gangguan pada Recloser Limbangan sebesar 1.386,73 A (tiga fasa), 1.210,08 A (dua fasa), dan 252,12 A (satu fasa), sedangkan pada Recloser Patung Jeruk sebesar 763,26 A, 662,98 A, dan 211,38 A secara berurutan. Setting eksisting OCR pada kedua recloser telah terkoordinasi baik untuk gangguan tiga dan dua fasa, namun GFR belum selektif pada gangguan satu fasa ke tanah di Zona 2, yang menyebabkan kedua recloser trip bersamaan. Oleh karena itu, dilakukan penyesuaian GFR Recloser Limbangan dengan menambahkan satu tahap proteksi berbasis karakteristik IDMT dan menaikkan arus trip instan. Setting akhir GFR terdiri dari tiga tahap: $I_0 > 25$ A (IEC SI, TMS 0,1), $I_0 \gg 200$ A (*definite time*, 250 ms), dan $I_0 \gg \gg 220$ A (*definite time*, 0 ms), yang terbukti meningkatkan selektivitas dan keandalan sistem proteksi. Disarankan penerapan karakteristik IDMT diperluas pada sistem distribusi dengan banyak titik proteksi, evaluasi setting rele dilakukan secara berkala sesuai perubahan sistem, pengembangan monitoring *real-time* untuk mendeteksi kegagalan proteksi secara dini, serta pengaturan rele mempertimbangkan kinerja dinamis recloser seperti waktu reset dan jumlah operasi sebelum *lockout* guna mendukung keandalan sistem distribusi secara keseluruhan.

Daftar Pustaka

- [1] Y. Afrida, R. Mahendra, and Hamimi, "Analisa Kegagalan Koordinasi Proteksi pada Setting Relay OCR Penyulang Semar di PT PLN (Persero) Unit Layanan Pelanggan Bandarjaya," *Jurnal Ilmiah Teknik Elektro UML*, 1(1), 2020, doi: 10.36269/jtr.v1i1.243.
- [2] G. A. Ibrahimusa, J. T. Wrahatnolo, and A. I. Agung, "Analisis Koordinasi Setting Relay Proteksi Pada Jaringan Distribusi 20KV Penyulang Brenggolo Di PT.PLN UP3 Kediri Gardu Induk Pare," *Jurnal Teknik Elektro*, 12(1), 2022, doi: 10.26740/jte.v12n1.p28-36.
- [3] F. Gumilang, B. P. Purnomo, and I. T. Prakoso, "Analisis Koordinasi Sistem Proteksi Menggunakan Software Etap Untuk Meningkatkan Keandalan Jaringan Distribusi Listrik 20 kV Pada Perusahaan Yang Bergerak Di Bidang Pengolahan Makanan," *Jurnal Teknik Elektro*, 7(2), 74, 2023, doi: 10.31000/jte.v7i2.9808.
- [4] H. N. Muflih, and C. F. Nugraha, "Analisis Evaluasi Koordinasi Sistem Proteksi Arus Lebih pada Switchgear PLTP PT Geo Dipa Energi (Persero)," *Seminar Nasional Terapan Riset Inovatif*, 9(1), 2023.
- [5] IEEE Std.242-2001, "*Recommended Practice for Protection and Coordination of Industrial and Commercial Power Systems*," Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc, 2001.