



Analisis Jarak Gangguan Hubung Singkat Berdasarkan Nilai Arus Gangguan dan Klasifikasi Jenis Gangguan Untuk Evaluasi Sistem Proteksi Gardu Induk Ciamis

Aldin Maulana Sidiq¹, Sutisna², Imam Taufiqurrahman³

^{1,2,3} Electrical Engineering, Faculty of Engineering, Universitas Siliwangi

INFORMASI ARTIKEL	A B S T R A K
Received: March 03, 26 Revised: March 25, 26 Available online: March 31, 26	Sistem tenaga listrik yang kompleks menuntut keandalan tinggi untuk meminimalkan kerusakan akibat gangguan hubung singkat yang sering terjadi pada penyulang. Besaran impedansi penyulang sangat mempengaruhi arus gangguan, semakin jauh jarak gangguan dari sumber, semakin besar impedansi yang membatasi besaran arus tersebut. Penelitian ini bertujuan untuk menentukan lokasi gangguan berdasarkan nilai arus dan klasifikasi jenis gangguan guna mengoptimalkan sistem proteksi pada penyulang LSCM di Gardu Induk Ciamis. Metodologi penelitian meliputi perhitungan manual impedansi urutan serta simulasi menggunakan perangkat lunak ETAP 19.0.1 pada skenario jarak 0%, 11,6%, 25%, 50%, 75%, dan 100%. Jenis gangguan yang dianalisis mencakup gangguan tiga fasa, fasa ke fasa, dua fasa ke tanah, dan satu fasa ke tanah. Hasil analisis menunjukkan perbandingan nilai arus gangguan antara perhitungan manual dengan hasil simulasi yang diperoleh. Gangguan tiga fasa dari hasil perhitungan manual adalah 7451,31 A (0%), 5507,47 A (11,6%), 3317,21 A (25%), 2361,5 A (50%), 1624,7 A (75%), dan 1481,9 A (100%), untuk gangguan fasa ke fasa 3725,65 A (0%), 2753 A (11,6%), 1808,74 A (25%), 1180,75 A (50%), 999,15 A (75%), dan 688,59 A (100%), untuk gangguan dua fasa ke tanah 5037,53 A (0%), 4602,7 A (11,6%), 4078,58 A (25%), 3551 A (50%), 3276 A (75%), dan 2738 A (100%), yang terakhir gangguan satu fasa ke tanah 7451,33 A (0%), 5106,78 A (11,6%), 3216 91 A (25%), 2177,38 A (50%), 1728,91 A (75%), dan 1303,2 A (100%). Sedangkan untuk nilai arus gangguan yang dihasilkan berdasarkan hasil simulasi adalah sebagai berikut, untuk gangguan tiga fasa 7537 A (0%), 5254 A (11,6%), 4386 A (25%), 2773 A (50%), 1930 A (75%), dan 1630 A (100%), gangguan fasa ke fasa 6763 A (0%), 4799 A (11,6%), 4036 A (25%), 2588 A (50%), 1814 A (75%), dan 1516 A (100%), gangguan dua fasa ke tanah 9102 A (0%), 5196 A (11,6%), 4320 A (25%), 2752 A (50%), 1932 A (75%), dan 1616 A (100%), dan gangguan satu fasa ke tanah 9408 A (0%), 4352 A (11,6%), 3244 A (25%), 1728 A (50%), 1124 A (75%), dan 921 A (100%). Implikasi penurunan arus terhadap jarak menjadi dasar penentuan nilai <i>setting</i> yang berjenjang. Hasil penelitian ini digunakan untuk melakukan <i>resetting</i> relai OCR dan GFR secara berjenjang guna meningkatkan selektivitas dan sensitivitas. Nilai <i>setting</i> arus (I_{set}) OCR yang di tetapkan Adalah sebesar 2078,4 A (<i>incoming</i>), 432,96 A (<i>outgoing</i>), dan 277,08 A (<i>recloser</i>), sementara GFR ditetapkan sebesar 86,6 A (<i>incoming</i>), 18,04 A (<i>outgoing</i>), dan 11,54 A (<i>recloser</i>). Hasil simulasi koordinasi menunjukkan sistem proteksi bekerja secara selektif dan responsif dengan <i>recloser</i> PBCL sebagai pengamanan utama tercepat. Kata kunci— Arus Gangguan, Jarak Gangguan, OCR, GFR, ETAP 19.0.1.
CORRESPONDENCE	A B S T R A C T
E-mail: ¹ 217002012@student.unsil.ac.id	Complex electrical power systems demand high reliability to minimize damage caused by short circuit faults, which frequently occur on feeders. The feeder impedance significantly influences the fault current; the further the fault distance from the source, the greater the impedance that limits the magnitude of the current. This study aims to determine fault locations based on current values and fault classifications to optimize the protection system on the LSCM feeder at the Ciamis Substation. The research methodology includes manual sequence impedance calculations and simulations using ETAP 19.0.1 software with distance scenarios of 0%, 11.6%, 25%, 50%, 75%, and 100%. The analyzed fault types cover three phase, phase to phase, phase to ground, and phase to ground faults. The analysis results show a comparison between manual calculations and obtained simulation results for fault currents. Based on manual calculations, the three phase fault currents are 7451.31 A (0%), 5507.47 A (11.6%), 3317.21 A (25%), 2361.5 A (50%), 1624.7 A (75%), and 1481.9 A (100%) phase to phase faults are 3725.65 A (0%), 2753.74 A (11.6%), 1808.74 A (25%), 1180.75 A

	(50%), 999.15 A (75%), and 688.59 A (100%) phase to phase to ground faults are 5037.53 A (0%), 4602.7 A (11.6%), 4078.58 A (25%), 3551.0 A (50%), 3276.05 A (75%), and 2738.02 A (100%) and phase to ground faults are 7451.33 A (0%), 5106.78 A (11.6%), 3216.91 A (25%), 2177.38 A (50%), 1728.91 A (75%), and 1303.2 A (100%). Meanwhile, the simulation results yielded fault currents for three phase: 7537 A (0%), 5254 A (11.6%), 4386 A (25%), 2773 A (50%), 1930 A (75%), and 1630 A (100%); phase to phase: 6763 A (0%), 4799 A (11.6%), 4036 A (25%), 2588 A (50%), 1814 A (75%), and 1516 A (100%); phase to phase to ground: 9102 A (0%), 5196 A (11.6%), 4320 A (25%), 2752 A (50%), 1932 A (75%), and 1616 A (100%) and phase to ground: 9408 A (0%), 4352 A (11.6%), 3244 A (25%), 1728 A (50%), 1124 A (75%), and 921 A (100%). The implication of current decrease relative to distance serves as the basis for determining graduated settings. This study is used to perform graduated resetting of OCR and GFR relays to improve selectivity and sensitivity. The established OCR current settings are 2078.4 A (incoming), 432.96 A (outgoing), and 277.08 A (recloser), while GFR settings are 86.6 A (incoming), 18.04 A (outgoing), and 11.54 A (recloser). Coordination simulation results show the protection system operates selectively and responsively with the PBCL recloser as the fastest primary protection. Keywords— Fault Current, Fault Distance, OCR, GFR, ETAP 19.0.1.
--	--

I. PENDAHULUAN

Seiring meningkatnya permintaan energi listrik menuntut penguatan infrastruktur distribusi yang mampu menjamin kontinuitas penyaluran serta tingkat keandalan sistem yang optimal [1]. Keandalan sistem tenaga listrik sangat bergantung pada sinergi antara komponen pembangkit, transmisi, dan distribusi. Mengingat kompleksitasnya, desain sistem harus dioptimalkan untuk meminimalkan dampak gangguan, seperti hubung singkat, guna menjaga kontinuitas penyaluran energi [2] [3] [4].

Gangguan hubung singkat merupakan permasalahan umum pada *feeder* atau penyulang yang menghubungkan gardu induk dengan beban pelanggan [5]. Secara teknis, gangguan ini terbagi menjadi dua kategori yaitu gangguan asimetris (satu fasa ke tanah, fasa ke fasa, dan dua fasa ke tanah) serta gangguan simetris, yaitu gangguan tiga fasa [6] [7]. Impedansi *feeder* menjadi faktor pembatas arus gangguan. Sesuai dengan prinsip impedansi saluran, gangguan yang terjadi di dekat sumber akan menghasilkan arus gangguan yang sangat besar karena nilai impedansi yang rendah, sementara gangguan di ujung saluran akan teredam oleh impedansi yang lebih tinggi [8].

Klasifikasi sistem proteksi tenaga listrik terdiri atas proteksi utama dan proteksi cadangan [9]. Proteksi utama dirancang untuk merespons gangguan secara instan, sementara proteksi cadangan berfungsi sebagai redundansi yang hanya akan teraktivasi apabila terjadi kegagalan operasi pada sistem proteksi utama [10].

Dalam sistem proteksi, *Overcurrent Relay* (OCR) beroperasi berdasarkan prinsip deteksi arus yang melebihi nilai ambang batas (I_{set}) guna melindungi sistem dari gangguan antar fase. Di sisi lain, *Ground Fault Relay* (GFR) berfungsi sebagai unit pendeteksi gangguan hubung singkat satu fasa ke tanah dengan memantau lonjakan arus residu yang timbul akibat kegagalan isolasi bumi [11].

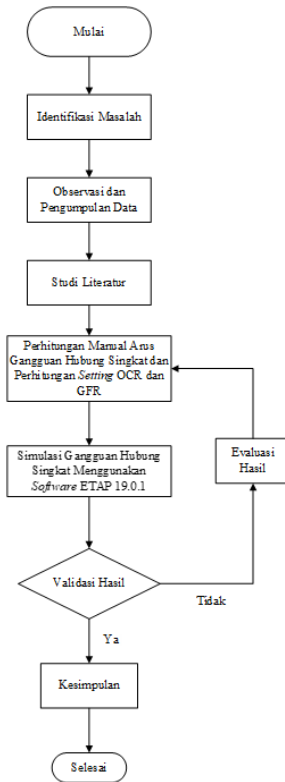
Prosedur *setting* nilai arus lebih (OCR) untuk proteksi transformator daya memerlukan nilai arus nominal sebagai basis perhitungan awal [12]. Dengan menetapkan konstanta standar antara 1,2 dan 1,3 pada kurva *standard inverse*. Berdasarkan besaran arus nominal yang telah diperoleh,

nilai *setting* waktu atau *Time Multiplier Setting* (TMS) kemudian ditentukan [13]. Sedangkan, dalam penentuan *setting* nilai arus nominal pada *Ground Fault Relay* (GFR) menggunakan konstanta antara 0,5 sampai 1,2 yang diaplikasikan di sisi primer maupun sekunder transformator [14] [15].

Penelitian ini bertujuan untuk menentukan jarak gangguan berdasarkan nilai arus gangguan hubung singkat serta menganalisis karakteristik gangguan simetris dan asimetris melalui perhitungan manual dan simulasi *software* ETAP 19.0.1. Ruang lingkup penelitian mencakup gangguan tiga fasa, fasa ke fasa, dua fasa ke tanah, dan satu fasa ke tanah dengan skenario jarak gangguan pada titik 0%, 11,6%, 25%, 50%, 75%, dan 100%. Hasil penelitian ini diharapkan menjadi bahan evaluasi bagi PT. PLN (Persero) Gardu Induk Ciamis dalam meningkatkan responsivitas dan keandalan sistem proteksi pada penyulang 20 kV.

II. METODE PENELITIAN

Tahapan penelitian ini dimulai dari identifikasi masalah, studi literatur, dan pengumpulan data teknis di *feeder* LSCM Gardu Induk Ciamis. Metodologi yang digunakan meliputi perhitungan manual impedansi urutan positif, negatif, dan nol untuk menentukan estimasi jarak dan jenis gangguan simetris atau asimetris. Kemudian, hasil tersebut divalidasi melalui simulasi pada ETAP 19.0.1 guna mengoptimalkan koordinasi proteksi OCR dan GFR.



Gambar.1. Flowchart Penelitian

Metodologi penelitian ini mencakup langkah-langkah krusial diuraikan sebagai berikut:

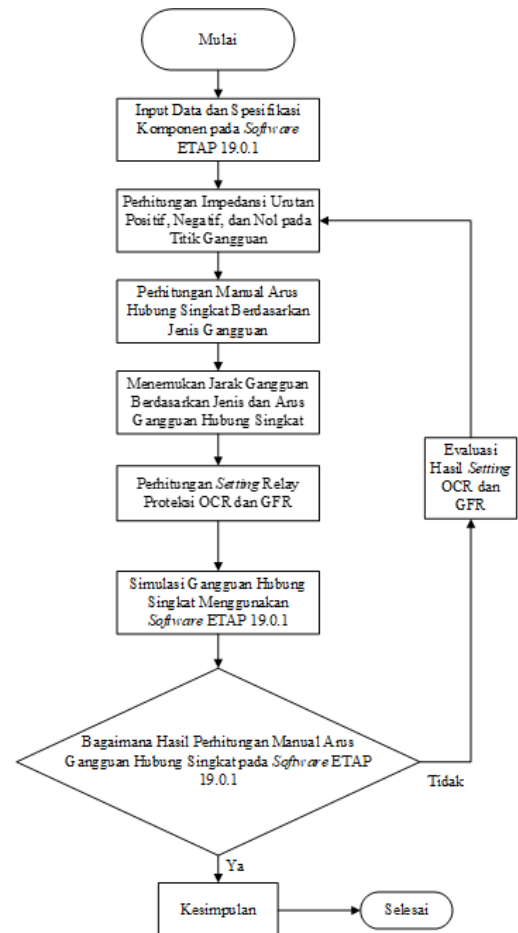
A. Observasi, Identifikasi Masalah, dan Pengumpulan Data

Penelitian ini diawali dengan observasi langsung untuk pemetaan masalah, diikuti dengan perolehan data teknis dari otoritas PLN terkait, termasuk ULTG Ciamis, UP3 Tasikmalaya, dan ULP Ciamis. Integrasi data dari berbagai unit ini dilakukan untuk memastikan aspek kebaruan dan orisinalitas data, sehingga hasil analisis perhitungan memiliki tingkat presisi yang tinggi.

B. Studi Literatur

Analisis lokasi dan jenis gangguan hubung singkat dalam penelitian ini bertujuan untuk mengoptimalkan kinerja relai OCR dan GFR pada *Feeder* LSCM menggunakan simulasi ETAP 19.0.1 dengan parameter yang terkalibrasi, penelitian ini mengkaji respons sistem proteksi pada sisi *incoming*, *outgoing*, dan *recloser*. Target akhir dari implementasi penelitian ini adalah peningkatan keandalan sistem melalui percepatan proses perbaikan gangguan dan meminimalisir dampak kegagalan proteksi terhadap komponen sistem tenaga listrik.

C. Perhitungan Manual dan Simulasi ETAP 19.0.1



Gambar 2. Flowchart Perhitungan Manual dan Simulasi ETAP 19.0.1

D. Perhitungan Impedansi Urutan Positif, Negatif, dan Nol

Tahapan ini mencakup perhitungan manual impedansi urutan positif (Z_1), negatif (Z_2), dan nol (Z_0) di sepanjang saluran. Analisis impedansi ini dilakukan untuk menentukan besaran arus gangguan hubung singkat secara akurat, yang kemudian digunakan sebagai basis estimasi lokasi gangguan secara presisi. Skenario pengujian ditetapkan pada titik gangguan dengan persentase jarak 0%, 11,6%, 25%, 50%, 75%, dan 100% dari panjang penyulang.

E. Perhitungan Arus Gangguan Hubung Singkat Berdasarkan Jenis Gangguan

Tahap berikutnya melibatkan perhitungan manual arus gangguan yang diklasifikasikan ke dalam dua kategori utama yaitu gangguan asimetris dan simetris. Analisis gangguan asimetris mencakup gangguan satu fasa ke tanah, fasa ke fasa, dan dua fasa ke tanah, sedangkan gangguan simetris direpresentasikan oleh gangguan tiga fasa.

F. Validasi Pengaruh Jenis dan Arus Gangguan Hubung Singkat Terhadap Jarak Gangguan

Untuk memverifikasi akurasi perhitungan manual, dilakukan analisis komparatif guna memetakan letak

gangguan berdasarkan nilai arus dan jenis gangguan hubung singkat. Evaluasi ini diimplementasikan dengan skenario penempatan titik gangguan mulai dari sumber (0%) hingga ujung saluran (100%).

G. Perhitungan *Setting* dan Koordinasi Relai Proteksi OCR dan GFR

Untuk mendapatkan *setting* koordinasi relai proteksi yang optimal, dilakukan perhitungan nilai ambang batas relai arus lebih (OCR) dan relai gangguan tanah (GFR). Perhitungan ini mencakup proteksi pada *incoming*, *outgoing*, dan *recloser* dengan menerapkan karakteristik waktu kerja *standard inverse*.

H. Validasi Hasil Perhitungan Manual Arus Gangguan Hubung Singkat dengan Hasil Simulasi *Short-Circuit* pada ETAP 19.0.1

Untuk memvalidasi hasil perhitungan manual, dilakukan simulasi analisis hubung singkat menggunakan ETAP 19.0.1. seluruh parameter di setiap komponen sistem diintegrasikan ke dalam *software* berdasarkan data lapangan untuk memastikan model representatif terhadap kondisi objek penelitian. Melalui pengujian gangguan simetris dan asimetris, penelitian ini membandingkan nilai arus gangguan dari hasil perhitungan manual dan keluaran dari simulasi.

I. Kesimpulan

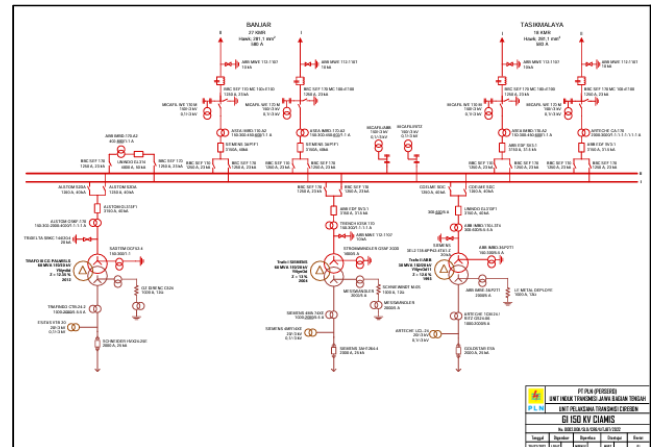
Analisis ini menghasilkan estimasi lokasi gangguan yang akurat dan optimasi koordinasi relai OCR dan GFR yang selektif. Dengan mengintegrasikan hasil perhitungan pada *incoming*, *outgoing*, dan *recloser*, penelitian ini menyediakan basis data evaluasi bagi PT. PLN (Persero) Gardu Induk Ciamis untuk memperbarui *setting* proteksi agar sesuai dengan kebutuhan sistem dan perkembangan beban saat ini.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Lokasi Penelitian

Objek dalam penelitian ini adalah PT. PLN (Persero) Gardu Induk Ciamis 150/20 kV yang berlokasi di Jl. Rumah Sakit, Ciamis, Kecamatan Ciamis, Kabupaten Ciamis, Jawa Barat, 46211, dan Penyulang LSCM.

B. *Single Line Diagram* 150 kV Gardu Induk Ciamis



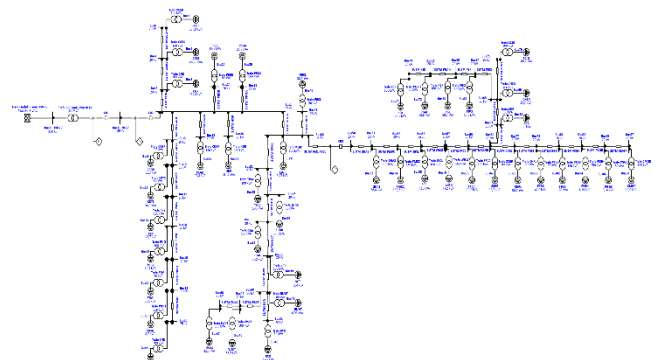
Gambar 3. *Single Line Diagram* 150 kV GI Ciamis

Gambar 3 diatas menunjukkan *Single Line Diagram* (SLD) Gardu Induk Ciamis yang menjelaskan konfigurasi sistem penyaluran tenaga listrik pada sisi tegangan 150 kV. Gardu Induk ini menggunakan sistem *double busbar* yang terdiri dari Busbar A dan Busbar B, yang memungkinkan fleksibilitas operasional dan kontinuitas penyaluran saat dilakukan pemeliharaan pada salah satu busbar.

Sistem ini terhubung dengan beberapa sirkuit transmisi (*bay line*), diantaranya menuju Banjar dan Tasikmalaya. Jalur menuju Banjar memiliki panjang saluran sepanjang 27 km dengan konduktor jenis Hawk (281,1 mm²) yang memiliki kemampuan hantar arus (KHA) sebesar 580 A. Sementara itu, jalur menuju Tasikmalaya memiliki panjang 18 km dengan spesifikasi konduktor yang serupa.

Pada setiap bay (jalur), sistem ini dilengkapi dengan peralatan proteksi dan pengukuran utama, meliputi *Lightning Arrester* (LA), *Capacitive Voltage Transformer* (CVT), *Current Transformer* (CT), *Circuit Breaker* (CB)/Pemutus Tenaga (PMT), dan *Disconnecting Switch* (DS)/Pemisah (PMS).

C. *Single Line Diagram* 20 kV Penyulang LSCM



Gambar 4. *Single Line Diagram* Penyulang LSCM

Sistem kelistrikan pada *feeder* LSCM Gardu Induk Ciamis 150 kV bersumber pada Transformator 3 Merek PAUWELS dengan kapasitas daya 60 MVA. *Feeder* LSCM memiliki total panjang saluran 23,01 km. Pada sistem kelistrikan *feeder* LSCM ini terdapat 43 trafo distribusi yang berfungsi sebagai sumber distribusi tenaga listrik pada beban.

D. Perhitungan Impedansi Urutan Positif, Negatif, dan Nol

Untuk melakukan perhitungan nilai impedansi urutan positif, negatif, dan nol harus diketahui terlebih dahulu letak gangguan untuk mempermudah pembuatan diagram impedansi dan perhitungan. Dalam penelitian ini, letak gangguan berada di titik 0%, 11,6%, 25%, 50%, 75%, dan 100%. Perhitungan impedansi urutan positif, dan negatif didapatkan dengan menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$Z_{1eq} = Z_S + X_t + Z_L \quad (1)$$

Sedangkan, untuk mendapatkan nilai impedansi urutan nol adalah menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$Z_{0eq} = Z_S + X_t + \% + Z_L \quad (2)$$

Tabel 1. Hasil Perhitungan Impedansi Urutan Positif, Negatif, dan Nol

Titik Gangguan (%)	Impedansi Urutan Positif dan Negatif ($Z_1 \approx Z_2$)	Impedansi Urutan Nol (Z_0)
0%	0,004965 + j0,232396	0,006181 + j0,232367
11,6%	0,087794 + j0,301988	0,098553 + j0,375897
25%	0,175231 + j0,491858	0,212400 + j0,530302
50%	0,301632 + j0,668557	0,424800 + j0,816505
75%	0,382214 + j0,777937	0,637200 + j1,102707
100%	0,605094 + j1,012530	0,849601 + j1,38891

Tabel 1 diatas menyajikan nilai impedansi urutan positif (Z_1), negatif (Z_2), dan Nol (Z_0) pada berbagai skenario titik gangguan, mulai dari sumber penyulang (0%) hingga ujung penyulang (100%). Hasil perhitungan ini merupakan langkah awal dalam analisis jarak gangguan hubung singkat pada penyulang LSCM Gardu Induk Ciamis untuk selanjutnya melakukan perhitungan arus gangguan hubung singkat.

E. Perhitungan Arus Gangguan Hubung Singkat

Untuk melakukan perhitungan arus gangguan hubung singkat pada suatu sistem, langkah pertama yang harus dilakukan adalah menghitung besarnya arus kapasitif, dan besarnya impedansi sumber. Untuk melakukan arus gangguan hubung singkat berdasarkan klasifikasi gangguan adalah menggunakan persamaan sebagai berikut:

- Gangguan Hubung Singkat 3 Fasa

$$I_{3fasa} = \frac{E}{Z_1} \quad (3)$$

- Gangguan Hubung Singkat 2 Fasa

$$I_{2fasa} = \frac{E}{Z_1 + Z_2} \quad (4)$$

- Gangguan Hubung Singkat 1 Fasa ke Tanah

$$I_{1fasaketanah} = \frac{E}{Z_1 + Z_2 + Z_0} \quad (5)$$

- Gangguan Hubung Singkat 2 Fasa ke Tanah

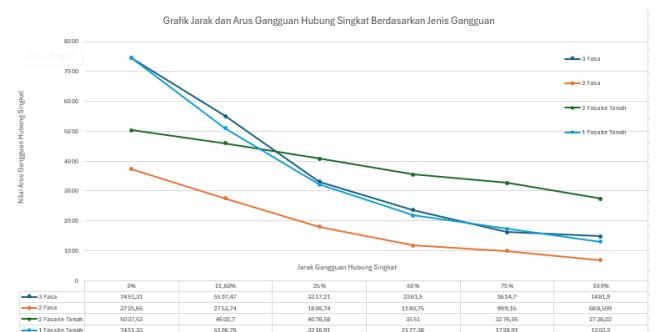
$$I_{2fasaketanah} = \frac{E}{Z_1 + \left(\frac{Z_0 + Z_2}{Z_0 + Z_2}\right)} \quad (6)$$

Tabel 2. Perbandingan Nilai Arus Gangguan pada Simulasi ETAP 19.0.1 dan Perhitungan Manual Berdasarkan Jenis Gangguan

Jenis Nilai	Titik Gangguan (%)	Arus Gangguan Hubung Singkat Tiga Fasa (A)	Arus Gangguan Hubung Singkat Dua Fasa (A)	Arus Gangguan Hubung Singkat Satu Fasa ke Tanah (A)	Arus Gangguan Hubung Singkat Dua Fasa ke Tanah (A)
Simulasi	0%	7537	6763	9102	9408
Manual		7451,31	3725,65	5037,53	7451,33
%Error		1,01%	1,81%	1,8%	1,26%
Simulasi	11,6%	5254	4799	5196	4352
Manual		5507,47	2753,74	4602,7	5106,78
%Error		0,95%	1,74%	1,12%	0,85%
Simulasi	25%	4386	4036	4320	3244
Manual		3317,21	1808,74	4078,58	3216,91
%Error		1,32%	2,23%	1,05%	1%
Simulasi	50%	2773	2588	2752	1728
Manual		2361,5	1180,75	3551	2177,38
%Error		1,17%	2,19%	0,77%	0,79%
Simulasi	75%	1930	1814	1932	1124
Manual		1624,7	999,15	3276,05	1728,91
%Error		1,18%	1,81%	0,58%	0,65%
Simulasi	100%	1630	1516	1616	921
Manual		1481,9	688,59	2735,02	1303,2
%Error		1,09%	2,2%	0,59%	0,7%

Data pada tabel 2 menunjukkan perbandingan besaran arus gangguan hubung singkat pada simulasi dan perhitungan manual dalam satuan Ampere (A) untuk empat jenis klasifikasi gangguan, yaitu gangguan tiga fasa (L-L-L), fasa ke fasa (L-L), dua fasa ke tanah (L-L-G), dan satu fasa ke tanah (L-G) pada berbagai titik jarak lokasi gangguan yang menjadi skenario.

Dasar pembandingan yang digunakan dalam penelitian ini adalah validasi antara dua metode yaitu perhitungan manual dengan menggunakan metode impedansi urutan positif, negatif, dan nol berdasarkan parameter jenis konduktor dan transformator untuk menghitung arus gangguan pada titik 0%, 11,6%, 25%, 50%, 75%, dan 100%. Sedangkan, simulasi ETAP 19.0.1 digunakan sebagai validator utama untuk mensimulasikan kondisi gangguan hubung singkat secara *real time* berdasarkan pemodelan sistem yang telah di input.



Gambar 5. Grafik Jarak dan Arus Gangguan Hubung Singkat Berdasarkan Jenis Gangguan

Gambar 5 diatas adalah grafik yang memvisualisasikan tren penurunan arus gangguan seiring bertambahnya jarak

titik gangguan dari sumber. Gambar 5 menjelaskan bahwa setiap jenis gangguan hubung singkat berpengaruh terhadap nilai arus gangguan hubung singkat. Semua jenis gangguan menunjukkan tren menurun dari titik 0% hingga 100%. Hal ini terjadi karena semakin jauh jarak gangguan, semakin besar impedansi penyulang, sehingga membatasi besaran arus yang mengalir.

F. Perhitungan *Setting Relay* Proteksi *Overcurrent Relay* (OCR) dan *Ground Fault Relay* (GFR) Feeder LSCM

Perhitungan *setting relay overcurrent relay* (OCR), *Ground Fault Relay* (GFR) pada transformator 60 MVA 150/20 kV. Perhitungan *setting relay* OCR pada jaringan distribusi 20 kV ini adalah menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$I_{set (prim)} = 1,2 \times I_{FLA} \quad (7)$$

Persamaan 7 digunakan untuk mengatur relay OCR pada sisi primer dan sekunder transformator daya, langkah pertama adalah menghitung arus nominal pada transformator. Untuk nilai $I_{Pick Up}$ standard inverse adalah 1,2 sampai 1,3.

Nilai primer yang didapat harus dikonversi menjadi nilai sekunder. Konversi ini dilakukan dengan menggunakan rasio *current transformer* (CT) yang terpasang pada sisi primer maupun sekunder transformator daya.

$$I_{set (sek)} \cdot I_{set (prim)} \times \frac{1}{RatioCT} \quad (8)$$

Selanjutnya, setelah mendapatkan arus gangguan hubung singkat, dan arus nominal adalah menghitung nilai TMS dengan persamaan *standard inverse* sebagai berikut:

$$TMS = \frac{\left(\frac{I_{hs}}{I_{set}}\right)^{0,02} - 1}{0,14} \times t_{op} \quad (9)$$

$$T_d = \frac{0,14}{\left(\frac{I_{hs}}{I_{set}}\right)^{0,02} - 1} \times TMS \quad (10)$$

Sedangkan, untuk *setting relay Ground Fault Relay* (GFR), nilai $I_{Pick Up}$ *standard inverse* untuk GFR ditetapkan sebesar 0,5 sampai 1,2, persamaan untuk mendapatkan nilai tersebut adalah sebagai berikut:

$$I_{set (prim)} = 0,5 \times I_{FLA} \quad (11)$$

Untuk langkah *setting relay* proteksi GFR ini, sama seperti *setting relay* pada OCR. Meskipun relay GFR menggunakan persamaan yang sama seperti OCR waktu kerja yang diinginkan untuk GFR berbeda, dan cenderung lebih sensitif daripada OCR.

Setting relay yang akan dihitung adalah relay yang terdapat pada *incoming*, *outgoing*, dan *recloser feeder* LSCM 20 KV.

Tabel 3. Data Hasil Perhitungan *Setting* OCR GFR pada *Incoming* dan *Outgoing* 20 kV Feeder LSCM

Jenis Relay	Setting Relay	Relay Recloser PBCL	Relay Outgoing	Relay Incoming
Overcurrent Relay	$I_{set} (A)$	277,08	432,96	2078,4
	$TMS (s)$	0,088	0,209	0,221
	$T_d (s)$	0,199	0,499	1,196

Ground Fault Relay	$I_{set} (A)$	11,54	18,04	86,6
	$TMS (s)$	0,185	0,457	0,798
	$T_d (s)$	0,199	0,499	1,198

Tabel 3 diatas menunjukkan hasil perhitungan manual *setting relay Overcurrent Relay* (OCR) dan *Ground Fault Relay* (GFR) pada *Incoming*, *Outgoing*, dan *Recloser* PBCL. Hasil perhitungan manual menunjukkan upaya untuk meningkatkan keandalan, responsivitas, dan selektivitas relay proteksi saat terjadi gangguan hubung singkat.

IV. KESIMPULAN

Penelitian pada penyulang LSCM Gardu Induk Ciamis 150/20 kV yang bersumber dari Transformator 3 PAUWELS 60 MVA dengan panjang saluran 23,01 km dan 43 Trafo distribusi ini menyimpulkan bahwa lokasi gangguan hubung singkat pada titik 0%, 11,6%, 25%, 50%, 75%, dan 100% berhasil diidentifikasi berdasarkan klasifikasi jenis gangguan tiga fasa, dua fasa, dua fasa ke tanah, dan satu fasa ke tanah. Hasil analisis menunjukkan lokasi gangguan paling kritis teridentifikasi pada area antara 0% hingga 11,6% dari panjang saluran, di mana arus gangguan memiliki magnitudo terbesar yang berpotensi menimbulkan kerusakan termal pada peralatan gardu induk jika tidak diisolasi dengan cepat. Sebaliknya, titik 100% menjadi titik kritis bagi sensitivitas relai karena pada arus gangguan satu fasa ke tanah menurun drastis hingga 1303,2 A, yang menuntut pengaturan GFR yang lebih sensitif. Optimalisasi sistem proteksi dilakukan melalui *resetting* berjenjang dengan nilai OCR *Incoming* 2078,4 A, *Outgoing* 432,96 A, dan *Recloser* 277,08 A, serta GFR *Incoming* 86,6 A, *Outgoing* 18,04 A, dan *Recloser* 11,54 A. Hasil analisis koordinasi membuktikan sistem bekerja secara selektif dengan *recloser* sebagai pengaman utama yang merespons gangguan dalam waktu 0,576 – 0,707 detik, sehingga menjaga keandalan sistem pada penyulang LSCM.

REFERENSI

- [1] Pratama Widya Aras Gede Putu I, Arjana Dyana Gede I, and Partha Indra Gede Cok, "Studi Koordinasi OCR dan GFR Saluran Distribusi Penyulang SANDA untuk Meningkatkan Kontinuitas Pelayanan," *Jurnal Spektrum*, vol. 8, Mar. 2021, Accessed: May 07, 2025. [Online]. Available: <https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/100896943/38959-libre.pdf?1681089370>
- [2] A. Fransiska Akwan, Y. Lafean, J. Kariongan, A. S. Sinaga, and T. K. Uniplaita, "KOORDINASI KERJA RELAI ARUS LEBIH (OCR) DAN RELAI GANGGUAN TANAH (GFR) SAAT TERJADI HUBUNG SINGKAT," Jan. 2024.
- [3] Anggara Govinda Bayu, "ANALISIS PENEMPATAN, PENYETTINGAN, DAN KOORDINASI OVER CURRENT RELAY (OCR), GROUND FAULT RELAY (GFR) DAN RECLOSER PADA PENYULANG BARU," Jan. 2022.
- [4] T. Darus Salam and G. Wiyono, "ANALISIS KOORDINASI PROTEKSI OCR DAN GFR UNTUK MENGATASI GANGGUAN HUBUNGSINGKAT PADA TRANSFORMATOR DAYA DI GARDU INDUK MEDARI," 2023.
- [5] C. N. Anshar and B. Budiman, "Studi Analisa Arus Gangguan Hubung Singkat Berdasarkan Lokasi Titik Gangguan Pada Saluran Udara Tegangan Menengah 20 kV," *Jurnal Teknik, Komputer, Agroteknologi Dan Sains*, vol. 1, no. 1, pp. 140–149, Nov. 2022, doi: 10.56248/marostek.v1i1.25.
- [6] H. Masdi, M. Tsari, and R. N. Hasanah, "Evaluasi Selektivitas dan Keandalan Relai OCR dan GFR pada Sistem Proteksi Jaringan Distribusi," 2025.

- [7] Syah Rohman Feri, "Analisis Hubung Singkat Pada Sistem Distribusi 20 kV PT. Pertamina Ep Asset 4 Field Cepu Distrik Ledok Menggunakan ETAP 12.6.0," 2021.
- [8] S. Thaha, A. W. Indrawan, and Y. J. Pongkiding, "Analisis Sistem Koordinasi Proteksi Over Current Relay (Ocr) Dan Ground Fault Relay (Gfr) Tegangan 20 Kv Bay Trafo Pada Gardu Induk Sanga-Sanga Kalimantan Timur," *Jurnal Teknologi Elekterika*, vol. 19, no. 2, p. 116, Nov. 2022, doi: 10.31963/elekterika.v6i2.3527.
- [9] E. Dermawan and D. Nugroho, "Analisa Koordinasi Over Current Relay Dan Ground Fault Relay Di Sistem Proteksi Feeder Gardu Induk 20 kV Jababeka," *Jurnal Elektum*, vol. 14, no. 2, 2023, doi: 10.24853/elektum.14.2.43-48.
- [10] S. Annisa, "ANALISIS SETTING OVER CURRENT RELAY (OCR) DAN GROUND FAULT RELAY (GFR) PADA RECLOSER HANGTUAH FEEDER KULIM PT. PLN (PERSERO) AREA PEKAN BARU," Dec. 2022.
- [11] N. A. Noor, K. Naim, and R. Akhdan, "Analisis Perhitungan Setting Proteksi Transformator 60 MVA pada Gardu Induk Bulukumba PT PLN (Persero)," 2022.
- [12] R. M. Damogalad, I. T. Yusuf, H. E. Harun, K. M. L. Amali, and I. A. Tolago, "ANALISIS KINERJA OVER CURRENT RELAY (OCR) & GROUND FAULT RELAY (GFR) PADA PENYULANG 20KV GB5 ULTG GORONTALO MENGGUNAKAN ALAT UJI CMC 356," *JREE*, vol. 2, no. 1, pp. 44–49, 2024, doi: 10.56190/jree.v2i1.30.
- [13] H. A. Santoso, M. Saputra, and R. Sutjipto, "Studi Penambahan OCR dan GFR Gardu Hubung Gondol untuk Mengurangi Gangguan Meluas Penyulang Banyupoh," *ELPOSYS: Jurnal Sistem Kelistrikan*, vol. 9, no. 2, 2022.
- [14] P. H. Kontra, Patras. S Lily, and M. C. G. Magindaan, "Setting Relay OCR dan GFR pada Penyulang SS2 Telap di Wilayah PT. PLN ULP Tondano," 2025.
- [15] H. K. Muhammad, B. Minto Basuki, and A. Muta'ali, "ANALISA KOORDINASI SETTING OVER CURRENT RELAY (OCR) DAN GROUND FAULT RELAY (GFR) PADA BAY BUSTIE KTT PT DAESANG DI GI MIWON," 2024.