

ANALISIS DAN PENENTUAN KOORDINASI PROTEKSI RELE JARAK DAN ARUS LEBIH TRANSMISI 150 KV DI PLTP DARAJAT

Agrial Sunahtul Putra^{*)}, Hermawan dan Mochammad Facta

Program Studi Sarjana Departemen Teknik Elektro, Universitas Diponegoro
Jl. Prof. Sudharto, SH, Kampus UNDIP Tembalang, Semarang 50275, Indonesia

^{*)}E-mail: agrialaja@gmail.com

Abstrak

PLTP Darajat memiliki daya maksimal sebesar 197,663 MW. Daya yang dibangkitkan oleh PLTP ini harus dialirkan secara optimal ke PLN Grid dengan bantuan saluran transmisi 150 kV. Sistem proteksi yang handal sangat diperlukan untuk menunjang penyaluran tenaga listrik ini. Oleh karena itu pada tugas akhir ini dilakukan analisis dan penentuan koordinasi proteksi pembangkit PLTP Darajat untuk mengantisipasi gangguan pada saluran transmisi 150 kV. Menurut IEEE Std C37.113-2015, PERMEN ESDM NO.3 TAHUN 2007, dan SPLN T5.002-1 2010 sistem proteksi pada saluran transmisi 150 kV dibagi menjadi dua yaitu utama dan cadangan, bagian utama terdiri atas line current differential dan rele jarak sedangkan cadangan terdiri atas rele arus lebih dan rele gangguan tanah. Hasil dari pekerjaan ini digunakan untuk menganalisa proteksi yang ada, khususnya untuk OCR dan GFR dengan bantuan software ETAP 16.0 dan Mathcad 15 serta melakukan penambahan rele jarak dan line current differential sehingga sesuai dengan standar acuan. Berdasarkan perhitungan dan hasil simulasi diperoleh karakteristik waktu sesaat yang diimplementasikan untuk diferensial arus saluran dan rele jarak, serta waktu operasi dengan waktu tunda pasti untuk OCR adalah 0,04s dan untuk GFR adalah 0,08s.

Kata kunci: PLTP Darajat, Saluran Transmisi, Sistem Proteksi, Relai, Perbaikan, SPLN T5.002-1 2010, ETAP 16.0, MathCad 15

Abstract

PLTP Darajat has a maximum power of 197,663 MW. The power generated by this PLTP must be transmitted optimally to the PLN Grid by using a 150 kV transmission line. A reliable protection system is required to support the delivery of this electric power. Therefore, in this final project, an analysis and determination of the protection coordination of Darajat PLTP generators are carried out to anticipate faults in the 150 kV transmission lines. According to IEEE Std C37.113-2015, PERMEN ESDM NO. 3 2007, and SPLN T5.002-1 2010, the protection systems on 150 kV transmission lines are divided into two groups, i.e. main and backup protection. The main protection consists of line current differential and distance relay. The backup protection consists of an overcurrent relay and a ground fault relay. The result of this works is used to analyze the existing protections, especially for OCR and GFR. ETAP 16.0 and Mathcad 15 software assist the analysis for distance relays and differential line currents so that the relay settings follow the reference standard. Based on calculations and the simulation results obtained instantaneous time characteristics are implemented for the line current differential and distance relay, and operating time with definite time delay for OCR is 0.04s and for GFR is 0.08s.

Keywords: Darajat Geothermal Power Plant, Transmission Line, Protection System, Relay, Repair, SPLN T5.002-1 2010, ETAP 16.0, MathCad 15

1. Pendahuluan

Pembangkit Listrik Tenaga Panas Bumi (PLTP) Darajat salah satu pembangkit yang menggunakan panas bumi sebagai sumber energi utama[1]. Untuk memenuhi kebutuhan kelistrikan pelanggan dan dirinya sendiri PLTP Darajat memiliki sistem kelistrikan tersendiri. Sistem tenaga listrik untuk penyediaan tenaga listrik yang terdiri atas fasilitas-fasilitas pembangkitan, transmisi, dan distribusi diatur agar sistem tidak hanya beroperasi dengan efisiensi yang setinggi mungkin, tetapi seluruh peralatannya juga diamankan dan

dilindungi terhadap kerusakan dan gangguan baik dari internal maupun eksternal PLTP. Ada beberapa macam gangguan diantaranya hubung singkat, beban lebih, tegangan lebih, kekurangan daya dan ketidakstabilan sistem[2]. Untuk melindungi peralatan-peralatan di PLTP Darajat maka perlu diadakannya sistem koordinasi proteksi guna untuk mengurangi bahkan menghilangkan gangguan ketika terjadi gangguan di PLTP Darajat baik di generator, transformator, transmisi dan peralatan pendukung lainnya. Menurut IEEE Std C37.113-2015, PERMEN ESDM NO.3 TAHUN 2007, dan SPLN T5.002-1 2010 sistem proteksi pada saluran transmisi 150 kV dibagi menjadi dua yaitu

utama dan cadangan, bagian utama terdiri atas line current differential dan relai jarak sedangkan cadangan terdiri atas overcurrent relay dan ground fault relay[3][4][5]. Analisis dan penentuan koordinasi proteksi rele jarak dan arus lebih transmisi 150 kV di PLTP Darajat ialah dengan cara penambahan relai jarak, *line current diferensial relay* serta melakukan perhitungan ulang relay OCR dan GFR[6].

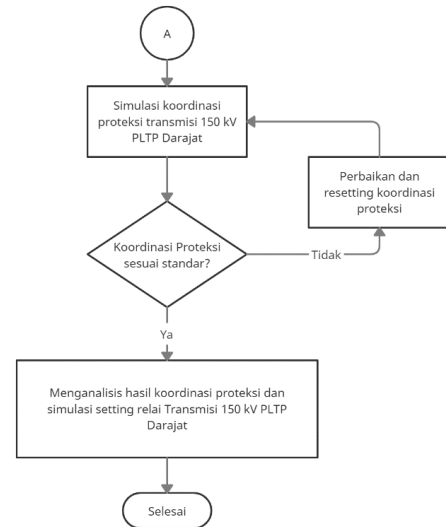
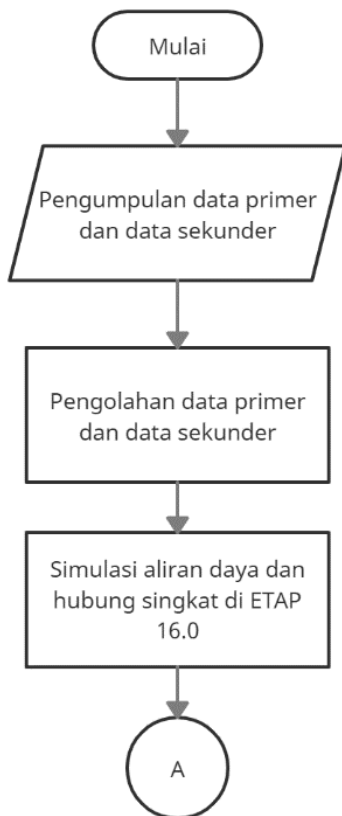
2. Metode Penelitian

2.1. Permasalahan

Permasalahan proteksi pada saluran transmisi 150 kV PLTP Darajat-PLN Grid diantaranya:

- Setting rele unit 2 dan 3 (rele OCR-GFR) belum sesuai dengan standar acuan.
- Koordinasi rele proteksi unit 2 dan 3 ke arah tranmisi 150 kV belum sesuai standar
- Belum adanya rele jarak pada unit 2 dan 3 serta belum adanya line current diferensial pada unit 2

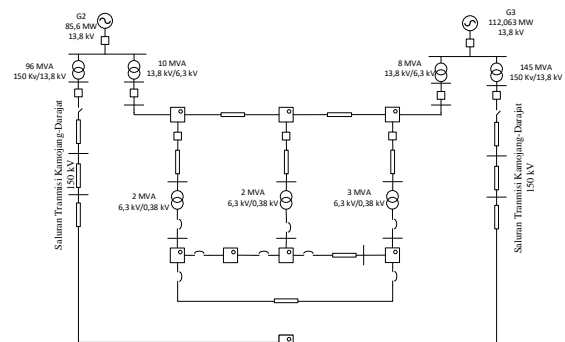
2.2. Langkah Penelitian



Gambar 1. Diagram alir penelitian

2.3. Data Penelitian

2.3.1. Single Line Diagram PLTP Darajat



Gambar 2. SLD PLTP Darajat

2.3.2. Data sistem

Tabel 1. Data generator unit 2

Parameter	Spesifikasi
Merk	Fuji Electric FTLRI 524/60-2
Type	Sinkron, 3 Fasa
Daya Aktif	85.6 MW
Daya Nyata	100.706 MVA
Tegangan	13.8 kV
Power Factor	0.85
Frekuensi	50 Hz
RPM	3000
Jenis Rotor	Round-Rotor
Eksitasi	Thyristor Self-Excitation
Xd'' (Reaktansi Subtransien)	0.15 pu
Xd' (Reaktansi Transien)	0.25 pu
Xd (Reaktansi Urutan Positif)	2.31 pu
X2 (Reaktansi Urutan Negatif)	0.16 pu
X0 (Reaktansi Urutan Nol)	0.10 pu
Stator Connection	Star
(I2)2t	30

Tabel 2. Data generator unit 3

Parameter	Spesifikasi
Merk	Fuji Electric FTLRI 544/65-2
Type	Sinkron, 3 Fasa
Daya Aktif	112.063 MW
Daya Nyata	137.5 MVA
Tegangan	13.8 kV
Power Factor	0.815
Frekuensi	50 Hz
RPM	3000
Jenis Rotor	Round-Rotor
Eksitasi	Thyristor Self-Excitation
Xd'' (Reaktansi Subtransien)	0.14 pu
Xd' (Reaktansi Transien)	0.22 pu
Xd (Reaktansi Urutan Positif)	1.65 pu
X ₂ (Reaktansi Urutan Negatif)	0.15
X ₀ (Reaktansi Urutan Nol)	0.08
Stator Connection	Star
(I ₂) ² t	30

Tabel 3. Data saluran PLTP Darajat-PLN Grid unit 2

Nama Saluran	Parameter	Spesifikasi
L-kmj01	Kode	Pirelli AAAC
	Jumlah Sirkuit	2
	Konduktor/Fasa (mm ²)	4 x 262
	Z (Ω)	0.0685 + j0.2045
	Panjang	0.1 km
L-drjkmj1	Kode	Pirelli AAAC
	Jumlah Sirkuit	2
	Konduktor/Fasa (mm ²)	4 x 262
	Z (Ω)	0.0685 + j0.2045
	Panjang	1.2 km
L-drj01	Kode	Pirelli AAAC
	Jumlah Sirkuit	2
	Konduktor/Fasa (mm ²)	4 x 262
	Z (Ω)	0.05751 + j0.15535
	Panjang	0.1 km

Tabel 4. Data saluran PLTP Darajat-PLN Grid unit 3

Nama Saluran	Parameter	Spesifikasi
L-kmj02	Kode	Pirelli AAAC
	Jumlah Sirkuit	2
	Konduktor/Fasa (mm ²)	4 x 262
	Z (Ω)	0.05751 + j0.15535
	Panjang	0.1 km
L-drjkmj2	Kode	Pirelli AAAC
	Jumlah Sirkuit	2
	Konduktor/Fasa (mm ²)	4 x 262
	Z (Ω)	0.05751 + j0.15535
	Panjang	14 km
L-drj02	Kode	Pirelli AAAC
	Jumlah Sirkuit	2
	Konduktor/Fasa (mm ²)	4 x 262
	Z (Ω)	0.05751 + j0.15535
	Panjang	0.1 km

3. Hasil dan Analisis

3.1. Simulasi Arus Gangguan Hubung Singkat ETAP 12.6.0

Tabel 5. Hasil simulasi arus hubung singkat pada ETAP 16.0

Bus	Isc Max				Isc Min			
	I _{faul t} LLL (kA)	I _{faul t} LL (kA)	I _{faul t} LLG (kA)	I _{faul t} LG (kA)	I _{faul t} LLL (kA)	I _{faul t} LL (kA)	I _{faul t} LLG (kA)	I _{faul t} LG (kA)
2GM	54,0	45,8	45,8	0,00	49,1	41,7	41,7	0,00
-2	36	8	82	7	53	53	37	6
3GM	87,9	73,3	73,4	0,00	76,4	65,4	65,4	0,00
B-	46	98	7,4	7	21	78	8	6
drjt2	6,52	5,62	7,00	6,98	5,94	5,13	6,37	6,36
B-	4	6	1	4	9		9	5
drjt3	13,4	11,5	13,2	11,8	12,2	10,6	12,0	10,8
B-	25	66	27	05	37	01	64	06
drjt0	6,52	5,63	7,00	6,99	5,95	5,13	6,38	6,37
1	9	6	6	3	4	4	4	
B-	13,4	11,5	13,2	11,7	12,2	10,6	12,0	10,7
drjt0	44	83	27	94	54	17	66	98
2								
B-	6,58	5,68	7,07	7,05	6,00	5,18	6,44	6,43
kmj0	7	1	1	5	6	4	4	
1								
B-	17,0	14,7	15,8	13,4	15,6	13,5	14,5	12,3
kmj0	5	16	78	63	38	5	88	84
2								
Draja	17,0	14,7	15,9	13,5	15,6	13,5	14,6	12,4
t1	85	46	16	04	71	79	24	22
Draja	6,59	5,68	7,07	7,06	6,00	5,18	6,44	6,43
t2	4	7	2	9	3	9	6	

Keterangan :

I_{faul t} LLL = Arus gangguan 3 fase

I_{faul t} LL = Arus gangguan 2 fase

I_{faul t} LLG = Arus gangguan 2 fase ke tanah

I_{faul t} LG = Arus gangguan 1 fase ke tanah

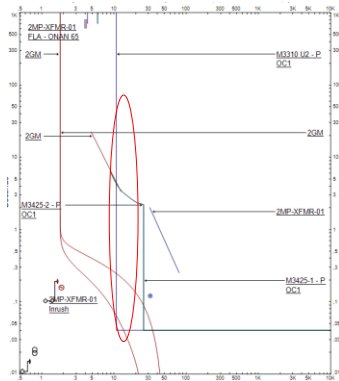
3.2. Peninjauan Sistem Proteksi Eksisting Serta Desain Dan Perbaikan Sistem Proteksi Saluran Transmisi Di PLTP Darajat

3.2.1. Koordinasi Rele OCR-GFR Unit 2 PLTP Darajat-Transmisi 150 kV

Tabel 6. Setting rele proteksi OCR-GFR unit 2 PLTP Darajat kondisi existing

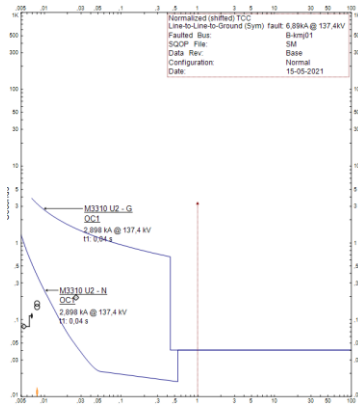
ID ETAP	Brands	CT Ratio	Curve	Setting rele OCR		Setting rele GFR	
				Pick up	TMS	Pick up	TMS
M3310 U2	Beckwith Electric M3310	400/5	Inverse	5	0,05	0,1	0,5
M3425 -1	Beckwith Electric M3425	5000/5	Definite	6	9	-	-
M3425 -2	Beckwith Electric M3425	5000/5	Definite	6	9	-	-

- Koordinasi Rele OCR Unit 2 PLTP Darajat-Transmisi 150 kV



Gambar 3. Plot kurva rele proteksi OCR Unit 2

- Koordinasi Rele GFR Unit 2 PLTP Darajat-Transmisi 150 kV



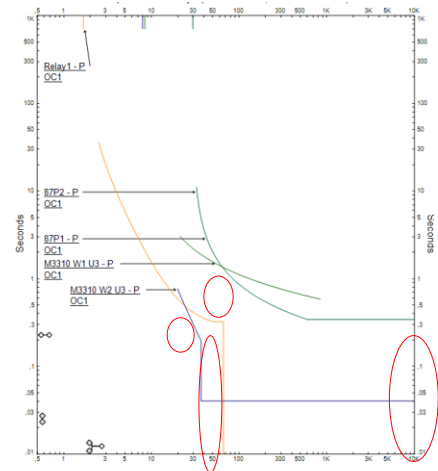
Gambar 4. Plot kurva rele proteksi GFR Unit 2

3.2.2. Koordinasi Rele OCR-GFR Unit 3 PLTP Darajat-Transmisi 150kV

Tabel 7. Setting rele proteksi OCR-GFR unit 3 PLTP Darajat kondisi existing

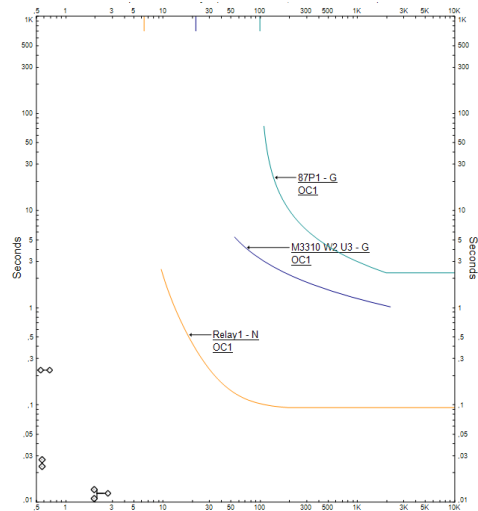
ID ETAP	Brands	CT Ratio	Curve	Setting rele OCR		Setting rele GFR	
				Pick up	TMS	Pick up	TMS
DIFF M3310 U3	Beckwith Electric M3310	7000/5 2000/5	-	-	-	-	-
M3310 W1 U3	Beckwith Electric M3310	7000/5	Inverse	6,6	0,4	-	-
M3310 W2 U3	Beckwith Electric M3310	2000/5	Extremely Inverse	2	0,05	-	-
87P1	Schneider Electric P521	2000/5	Inverse	1,5	0,15	0,5	1
87P2	Schneider Electric P521	2000/5	Inverse	1,5	0,15	0,5	1
Relay1	Schweitzer 300G	7000/5	Extremely Inverse	1,31	7,75	-	-
Relay24	Beckwith Electric	7000/5	-	-	-	-	-

- Koordinasi Rele OCR Unit 3 PLTP Darajat-Transmisi 150 kV



Gambar 5. Plot kurva rele proteksi OCR Unit 3

- Koordinasi Rele GFR Unit 3 PLTP Darajat-Transmisi 150 kV



Gambar 6. Plot kurva rele proteksi GFR Unit 3

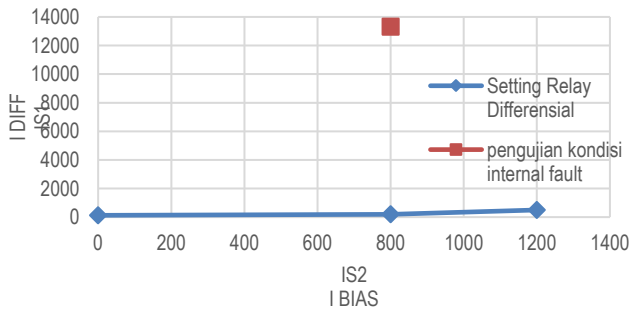
3.3. Rekomendasi desain dan perbaikan sistem proteksi saluran transmisi di PLTP Darajat

3.3.1. Penambahan Line Current Differential Relay

Tabel 8. Karakteristik saluran transmisi 150 kV PLTP Darajat unit 2

Nama Peralatan	R (ohm)	X (ohm)	Y (mho)	Panjang (KM)
Saluran Transmisi 150 kV PLTP Darajat Unit 2 (From bus B-drj2 to Bus Drajat2)	0,05751	0,15535	7,61726 = 3,4 x 10-2 (pu)	1,4

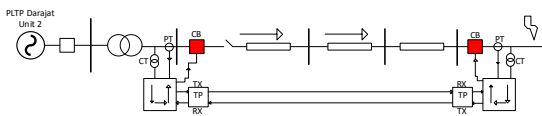
Menurut rekomendasi PLN P3B Gandul, penggunaan rele differensial penghantar biasanya lebih efektif digunakan pada jarak kurang dari 10 Km dibandingkan rele jarak sebagai proteksi utama[7]. Tabel 8 dibawah menjelaskan



Ket : Diatas garis biru area operasi dan di bawah garis biru block area

Gambar 10. Karakteristik relay differential kondisi internal fault

- Skenario 3 (External fault)



Gambar 11. Skema differential relay kondisi external fault

Perhitungan pada pengujian relay saat kondisi external fault ditentukan dengan menggunakan persamaan sebagai berikut :

$$\begin{aligned}
 I_{diff} &= I_1 \angle x + I_2 \angle y \\
 I_{diff} &= 11 \angle 0 + 12 \angle 180 \\
 I_{diff} &= 5,945 (1+0) \text{ kA} + 6,518 (-1+0) \text{ kA} \\
 I_{diff} &= 0 \text{ A} \\
 I_{bias} &= \frac{5,945 + 5,945}{2} = 5,945 \text{ kA}
 \end{aligned}$$

Tripping criteria

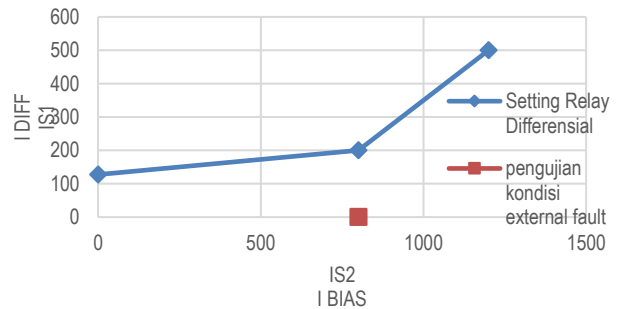
Kasus 1

$$\begin{aligned}
 I_{bias} < I_{s2} &= I_{diff} > K1 \cdot (I_{bias}) + I_{s1} \\
 &= I_{diff} > 0,2 (5,945 \text{ kA}) + 128,57 \text{ A} \\
 &= 0 \text{ A} > 1,31757 \text{ kA}
 \end{aligned}$$

Kasus 2

$$\begin{aligned}
 I_{bias} > I_{s2} &= I_{diff} > K2 \cdot (I_{bias}) - (K2 - K1) \cdot I_{s2} + I_{s1} \\
 &= 0 \text{ A} > 1,5 (5,945 \text{ kA}) - (1,5 - 0,2) \cdot 800 + 127,58 \\
 &= 0 \text{ A} > 8,00508 \text{ kA}
 \end{aligned}$$

Hasil pengujian relay menunjukkan nilai I_{diff} lebih besar dibandingkan nilai I_{bias} , yaitu sebesar 0 A dan 5,945 kA. Hasil pengujian setting relay bahwa nilai I_{diff} diperoleh sebesar 0 A dengan nilai tripping criteria sebesar 1,31757 kA dan 8,00508 kA. Gambar 12 menunjukkan bahwa pada titik berwarna merah adalah titik temu antara nilai I_{diff} dan nilai I_{bias} yang berada di bawah setting relay sehingga nilai I_{diff} dan I_{bias} berada di block area.



Ket : Diatas garis biru area operasi dan di bawah garis biru block area

Gambar 12. Karakteristik relay differential kondisi eksternal fault

3.3.2. Penambahan Relai Jarak

- Data Saluran Tranmisi 150 kV PLTP Darajat

Tabel 11 merupakan ringkasan dari data impedansi urutan saluran dengan satuan ohm per kilometer di rubah menjadi impedansi dengan satuan ohm dengan mengalikan dengan panjang salurannya[8].

Tabel 11. Data impedansi urutan positif dan urutan nol

From	To	Panjang Saluan (KM)	Z1 (Ohm)	Z0 (Ohm)
B-drjt3	Bus Drajat1	14,2	0,05751+j0,15535	0,41732+j1,12029
B-drjt2	Bus Drajat2	1,4	0,05751+j0,15535	0,41732+j1,12029

- Perhitungan Relai Jarak Tranmisi 150 kV PLTP Darajat

ZONA 1

$$\text{Jangkauan Zona 1 Saluran} = 0,8 \times L1 \quad (6)$$

$$\text{Setting Impedansi Primer} = Z_{\text{Saluran}} \times x \quad (7)$$

$$\text{Jangkauan Zona 1 Saluran} = Z_{\text{primer}} \times \frac{CT}{PT} \quad (8)$$

$$\text{Setting Impedansi Sekunder} = Z_{\text{primer}} \times \frac{CT}{PT} \quad (8)$$

ZONA 2

$$\text{Jangkauan Zona 2 Saluran} = 1,2 \times L1 \quad (9)$$

$$\text{Setting Impedansi Primer} = Z_{\text{Saluran}} \times x \quad (10)$$

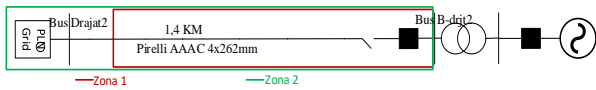
$$\text{Jangkauan Zona 1 Saluran} = Z_{\text{primer}} \times \frac{CT}{PT} \quad (11)$$

$$\text{Setting Impedansi Sekunder} = Z_{\text{primer}} \times \frac{CT}{PT} \quad (11)$$

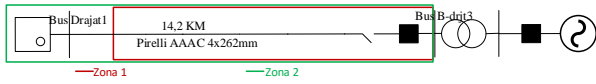
- Hasil Perhitungan Relai Jarak Tranmisi 150 kV PLTP Darajat

Tabel 12. Hasil perhitungan relai jarak

Rela	Zona	Z (ohm)	Waktu (s)
Unit2 (B-drjt2 to Bus Drajat2)	Zona 1	0,064411+j0,173992	Instan (0,06)
	Zona 2	0,096617+j0,260988	0,4
Unit3 (B-drjt3 to Bus Drajat1)	Zona 1	0,653314+j1,764776	Instan (0,06)
	Zona 2	0,97997+j2,647164	0,4



Gambar 13. Zona proteksi rele jarak PLTP Darajat-PLN Grid unit 2



Gambar 14. Zona proteksi rele jarak PLTP Darajat-PLN Grid unit

➤ Pengujian Setting Relai Jarak

Tabel 13. Hasil pengujian setting relai jarak tanpa menggunakan arching Unit 2

Titik Gangguan	Zfault	Zsetting	Diagram R-X	Ket
7,14%	5.749x10 ⁻³ + j0.015529 (θ=69.688 o)	0.064411+ j0.173992		Beroperasi di Zona 1
92,85%	0.074757+ j0.201939 (θ=69.686 o)	0.064411+ j0.173992		Beroperasi di Zona 2
100%	0.080514+ j0.21749 (θ=69.686 o)	0.064411+ j0.173992		Beroperasi di Zona 2

Tabel 14. Hasil pengujian setting relai jarak menggunakan arching Unit 2

Titik Gangguan	Zfault	Zsetting	Diagram R-X	Ket
7,14%	0.081189+ j0.21749 (θ=69.529 o)	0.06441 1+ j0.1739 92		Beroperasi di Zona 2
92,85%	0.081181+ j0.21749 (θ=69.531 o)	0.06441 1+ j0.1739 92		Beroperasi di Zona 2
100%	0.08118+ j0.21749 (θ=69.531 o)	0.06441 1+ j0.1739 92		Beroperasi di Zona 2

Metode pengujian ini menggunakan gangguan fasa-fasa, metode ini digunakan untuk mengetahui besar impedansi dengan menggunakan lokasi/titik gangguan, baik menggunakan arching dan tanpa menggunakan arching kemudian membandingkan impedansi penalaan dengan impedansi gangguan sebenarnya[9].

$$Z_{\text{gangguan}} = ZL1 \times \text{titik gangguan} \quad (12)$$

$$Z_{\text{gangguan}} = (ZL1 \times \text{titik gangguan}) + Rarc \quad (13)$$

Tabel 15. Hasil pengujian setting relai jarak tanpa menggunakan arching Unit 3

Titik Gangguan	Zfault	Zsetting	Diagram R-X	Ket
0,704%	5.7492x10 ⁻³ - j0.01553 (θ=69.685 o)	0.65331 4+j1.76 4776		Beroperasi di Zona 1
99,29%	0.810844+ j2.190308 (θ=69.685 o)	0.65331 4+j1.76 4776		Beroperasi di Zona 2
100%	0.816642+ j2.20597 (θ=69.685 o)	0.65331 4+j1.76 4776		Beroperasi di Zona 2

Tabel 16. Hasil pengujian setting relai jarak menggunakan arching Unit 3

Titik Gangguan	Zfault	Zsetting	Diagram R-X	Ket
0,704%	0.81702+ j2.20597 (θ=69.690)	0.653314+ j1.764776		Beroperasi di Zona 2
99,29%	0.816911+ j2.205972 (θ=69.680)	0.653314+ j1.764776		Beroperasi di Zona 2
100%	0.81691+ j2.20597 (θ=69.680)	0.653314+ j1.764776		Beroperasi di Zona 2

3.3.3. Resetting OCR dan GFR

➤ Perhitungan OCR

Perhitungan setting relay arus lebih dapat dilihat pada persamaan dibawah[10][11]:

$$1,05 \times FLA < I_{set} < 0,8 \times I_{sc} \quad (14)$$

$$T_{ap} = \frac{I_{set}}{CT \text{ primary}} \quad (15)$$

$$T_d = \frac{\left[\left(\frac{I_{scmin}}{I_{set}} \right)^a - 1 \right] \times T}{k} \quad (16)$$

Tabel 17. Konstanta karakteristik rele arus lebih

NO	Deskripsi	K	C	α
1	Definit Time	-	0-100	-
2	Standart Inverse	0,14	0	0,02
3	Very Invers	13,5	0	1
4	Extremely Invers	80	0	2
5	Long Time Invers	120	0	1

➤ Perhitungan GFR

Perhitungan setting GFR dapat dilihat pada persamaan dibawah:

$$I_{set} = 40\% \times FLA \quad (17)$$

$$Tap = \frac{I_{set}}{CT \text{ primary}} \quad (18)$$

$$T_d = \frac{\left[\frac{(I_{scmin})^a}{I_{set}} - 1 \right] \times T}{k} \quad (19)$$

Tabel 18. Konstanta karakteristik rele hubung tanah

NO	Deskripsi	K	C	α
1	Definit Time	-	0-100	-
2	Standart Inverse	0,14	0	0,02
3	Very Invers	13,5	0	1
4	Extremely Invers	80	0	2
5	Long Time Invers	120	0	1

➤ Hasil perhitungan OCR dan GFR

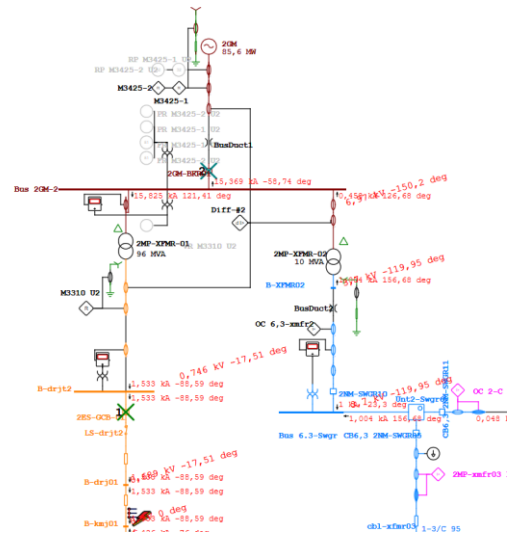
Hasil perhitungan atau resetting pada relai OCR-GFR unit 2 dan unit 3 [12][13] dapat dirangkum pada Tabel 19.

Tabel 19. Setting Relai Proteksi hasil resetting

Relai Proteksi	OCR Time Delay		GFR Time Delay	
	Tap	TMS	Tap	TMS
M3310 U2	5	0,05	0,1	0,5
M3425-1	0,957	0,069	12	0,05
M3425-2	0,927	0,104	12	0,1
M3310 W1 U3	0,439	0,044	0,032	0,235
M3310 W2 U3	0,307	0,495	0,372	0,231
Relay1	4,52	0,036	0,329	0,231
Relay24	4,52	0,036	0,329	0,231

➤ Pengujian hasil resetting proteksi OCR-GFR unit 2 PLTP Darajat

- Arus hubung singkat 3 fasa di saluran transmisi unit 2 PLTP Darajat[14]

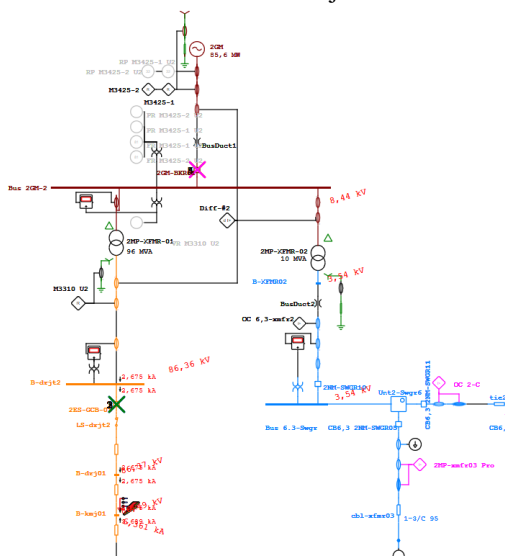


Gambar 15. Simulasi koordinasi Relay pada Gangguan Hubung Singkat 3 fasa pada saluran transmisi unit 2

Time (ms)	ID	I (kA)	T1 (ms)	T2 (ms)	Condition
20,0	DW42		20,0		Phase-87
40,0	M3310 U2	1,533	40,0		Phase-OC1-50
80,0	ZES-GCB-01		40,0		Tripped by M3310 U2 Phase-OC1-50
169	M3425-1	15,389	169		Phase-OC1-51
209	ZGM-BKR01		40,0		Tripped by M3425-1 Phase-OC1-51
252	M3425-2	15,389	252		Phase-OC1-51
292	ZGM-BKR01		40,0		Tripped by M3425-2 Phase-OC1-51
724	Relay21	2,218	724		Phase-OC1-51
724	Relay66	2,218	724		Phase-OC1-51
784	CB150 DprGrt		60,0		Tripped by Relay21 Phase-OC1-51
784	CB150 DprGr2		60,0		Tripped by Relay66 Phase-OC1-51

Gambar 16. Urutan kerja rele dalam hubung singkat 3 fasa pada bus B-kmj01

- Arus hubung singkat 1 fasa ke tanah di saluran transmisi unit 2 PLTP Darajat

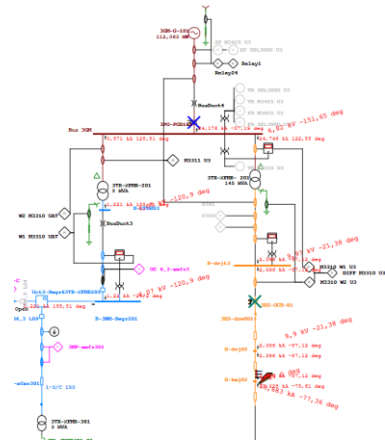


Gambar 17. Simulasi koordinasi Relay pada Gangguan Hubung Singkat 1 fasa ke tanah pada saluran transmisi Unit 2

Time (ms)	ID	I (kA)	T1 (ms)	T2 (ms)	Condition
20.0	Dt#2	20.0	20.0		Phase - 87
40.0	M3310 U2	1.97	40.0		Phase - OC1 - 50
40.0	M3310 U2	2.675	40.0		Neutral - OC1 - 50 (TOC blocked by IOC)
40.0	M3310 U2	2.675	40.0		Ground - OC1 - 50
80.0	2ES-GCB-01		40.0		Tripped by M3310 U2 Phase - OC1 - 50
80.0	2ES-GCB-01		40.0		Tripped by M3310 U2 Neutral - OC1 - 50
80.0	2ES-GCB-01		40.0		Tripped by M3310 U2 Ground - OC1 - 50
207	M3425-1	9.359	207		Phase - OC1 - 51
247	2GM-BKFR01		40.0		Tripped by M3425-1 Phase - OC1 - 51
308	M3425-2	9.359	308		Phase - OC1 - 51
348	2GM-BKFR01		40.0		Tripped by M3425-2 Phase - OC1 - 51

Gambar 18. Urutan kerja rele dalam hubung singkat 1 fasa ke tanah pada bus B-kmj01

- Pengujian hasil resetting proteksi OCR-GFR unit 3 PLTP Darajat
 - Arus hubung singkat 3 fasa di saluran transmisi unit 3 PLTP Darajat

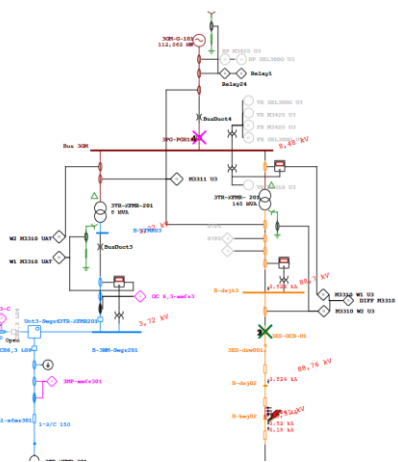


Gambar 19. Simulasi koordinasi Relay pada Gangguan Hubung Singkat 3 fasa pada saluran transmisi Unit 3

Time (ms)	ID	I (kA)	T1 (ms)	T2 (ms)	Condition
20.0	M3311 U3	20.0	20.0		Phase - 87
40.0	M3310 W2 U3	2.396	40.0		Phase - OC1 - 50
80.0	3ES-GCB-01		40.0		Tripped by M3310 W2 U3 Phase - OC1 - 50
94.7	M3310 W1 U3	24.746	94.7		Phase - OC1 - 51
135	3ES-GCB-01		40.0		Tripped by M3310 W1 U3 Phase - OC1 - 51
257	Relay1	24.176	257		Phase - OC1 - 51
297	3PG-PGR101		40.0		Tripped by Relay1 Phase - OC1 - 51
542	Relay17	6.664	542		Phase - OC1 - 51
602	CB150 D3#Kmj1		60.0		Tripped by Relay17 Phase - OC1 - 51
4351.7	W1 M3310 UAT	0.571	> 4351.7		Phase - OC1 - 51
4358.7	3TR-#FMR201		70.0		Tripped by W1 M3310 UAT Phase - OC1 - 51

Gambar 20. Urutan kerja rele dalam hubung singkat 3 fasa pada bus B-kmj02

- Arus hubung singkat 1 fasa ke tanah di saluran transmisi unit 3 PLTP Darajat



Gambar 21. Simulasi koordinasi Relay pada Gangguan Hubung Singkat 1 fasa ke tanah pada saluran transmisi Unit 3

Time (ms)	ID	I (kA)	T1 (ms)	T2 (ms)	Condition
20.0	M3311 U3	20.0	20.0		Phase - 87
40.0	M3310 W2 U3	2.487	40.0		Phase - OC1 - 50
40.0	M3310 W2 U3	3.824	40.0		Ground - OC1 - 50
80.0	3ES-GCB-01		40.0		Tripped by M3310 W2 U3 Phase - OC1 - 50
80.0	3ES-GCB-01		40.0		Tripped by M3310 W2 U3 Ground - OC1 - 50
123	M3310 W1 U3	11.162	123		Phase - OC1 - 51
163	3ES-GCB-01		40.0		Tripped by M3310 W1 U3 Phase - OC1 - 51
635	Relay1	10.902	635		Phase - OC1 - 51
675	3PG-PGR101		40.0		Tripped by Relay1 Phase - OC1 - 51

Gambar 22. Urutan kerja rele dalam hubung singkat 1 fasa ke tanah pada bus B-kmj01

3.3.4. Rekomendasi Koordinasi Proteksi

- Rekomendasi Koordinasi Proteksi Saluran Transmisi 150 kV pada Unit 2 PLTP Darajat[15]

Tabel 20. Rekomendasi koordinasi proteksi OCR-GFR Unit 2

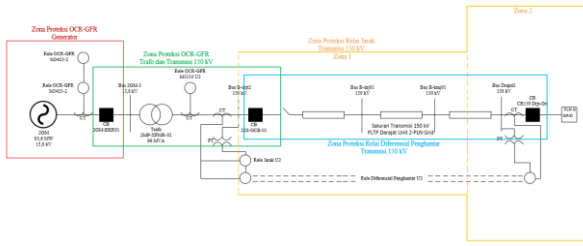
Relai Proteksi	OCR Time Delay		GFR Time Delay	
	Tap	TMS	Tap	TMS
M3310 U2	5	0,05	0,1	0,5
M3425-1	0,957	0,069	12	0,05
M3425-2	0,927	0,104	12	0,1

Tabel 21. Rekomendasi koordinasi proteksi rele jarak Unit 2

Rela Proteksi	Zona	Z (ohm)	Waktu (s)
Rele Jarak U2	Zona 1	0,064411+j0,173992	Instan (0,06)
	Zona 2	0,096617+j0,260988	0,4

Tabel 22. Rekomendasi koordinasi proteksi line current differential Unit 2

Rela Proteksi	Hasil Setting	Arus (A)	Waktu	Slope (%)
Line Current Differential U2	Is1	1,6 A	Instantaneous	20%
	Is2	10 A	Instantaneous	150%



Gambar 23. Zona proteksi tiap peralatan proteksi di Unit 2 PLTP Darajat

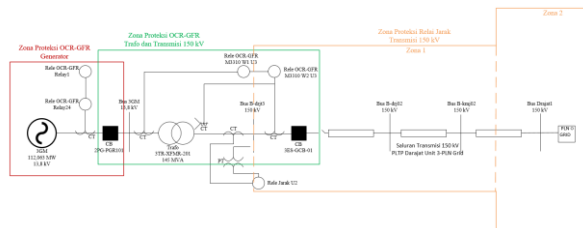
- Rekomendasi Koordinasi Proteksi Saluran Transmisi 150 kV pada Unit 3 PLTP Darajat

Tabel 23.Rekomendasi koordinasi proteksi OCR-GFR Unit 3

Relai Proteksi	OCR Time Delay		GFR Time Delay	
	Tap	TMS	Tap	TMS
M3310 W1 U3	0,439	0,044	0,032	0,235
M3310 W2 U3	0,307	0,495	0,372	0,231
Relay1	4,52	0,036	0,329	0,231
Relay24	4,52	0,036	0,329	0,231

Tabel 24.Rekomendasi koordinasi proteksi relai jarak Unit 3

Relai Proteksi	Zona	Z (ohm)	Waktu (s)
Relai Jarak U3	Zona 1	0,653314+j1,764776	Instan (0,06)
	Zona 2	0,97997+j2,647164	0,4



Gambar 24. Zona proteksi tiap peralatan proteksi di Unit 3 PLTP Darajat

4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisis, setelah dilakukan peninjauan dan melakukan perbaikan pada koordinasi proteksi kondisi eksisting maka diperoleh yaitu penambahan relai jarak dan line current differential relay serta penyetelan ulang relai arus lebih dan relai hubung tanah dengan masing-masing waktu kerja yaitu waktu instan untuk line current differential dan relay jarak sedang OCR dengan waktu kerja 0,04s lalu 0,08s untuk waktu kerja relay GFR. Penentuan koordinasi sudah memenuhi standar acuan yaitu IEEE Std C37.113-2015, PERMEN ESDM NO.3 TAHUN 2007, dan SPLN T5.002-1 2010.

Referensi

- [1] M. Moediyono, "PEMBANGUNAN PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA PANAS BUMI / GOETHERMAL ENERGY (PLTPB)," *Gema Teknol.*, vol. 16, no. 1, pp. 5–10, Oct. 2010, doi: 10.14710/GT.V16I1.240.
- [2] D. Irawan, "Klasifikasi Gangguan Pada Saluran Transmisi Menggunakan Jaringan Syaraf Tiruan Metode Kohonen," *E-Link J. Tek. Elektro dan Inform.*, vol. 1, no. 1, p. 1, 2018, doi: 10.30587/e-link.v1i1.582.
- [3] I. Power and E. Society, *IEEE Guide for Protective Relay Applications to Transmission Lines - IEEE Std C37.113™-2015 (Revision of IEEE Std C37.113-1999)*, vol. 2015. 2015.
- [4] SPLN T5.002-1 : 2010, "SPLN T5.002-1 : 2010 Pola Proteksi Saluran Transmisi." pp. 1–21, 2010.
- [5] Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral Republik Indonesia, "Aturan Jaringan Sistem Tenaga Listrik Jawa-Madura-Bali," *Peratur. Menteri Energi Dan Sumber Daya Miner.*, vol. 3, pp. 1–135, 2007.
- [6] M. F. Aufar and R. Setiabudy, "Rekonfigurasi Sistem Proteksi Utama pada Saluran Udara Tegangan Tinggi dengan Penambahan Gardu Induk Baru di Alam Sutera," pp. 1–20, 2014.
- [7] N. B. Dharmawan, W. G. Ariastina, and A. A. N. Amrita, "Studi Sistem Proteksi Line Current Differential Relay Pada Saluran Transmisi 150 Kv," *Univ. Muhammadiyah Surakarta*, vol. 7, no. 1, pp. 152–161, 2020.
- [8] J. B. Sepang, L. S. Patras, F. Lisi, and J. T. Elektro-ft, "Analisa Koordinasi Setting Relai Jarak Sistem Transmisi 150 KV Area Gardu Induk Otam – Gardu Induk Isimu," *Anal. Koord. Setting Relai Jarak Sist. Transm. 150 KV Area Gardu Induk Otam ?? Gardu Induk Isimu*, vol. 6, no. 3, pp. 148–158, 2017, doi: 10.35793/jtek.6.3.2017.18824.
- [9] R. Sudrajat, S. Saodah, and Waluyo, "Analisis Penalaan Rele Jarak sebagai Proteksi Utama pada Saluran Udara Tegangan Tinggi 150 kV Bandung Selatan – Cigereleng," *J. Reka Elkomika*, vol. 2, no. 1, pp. 36–48, 2014.
- [10] M. H. M. Efendi, J. Windarta, and A. Darmanto, "Perancangan Aliran Daya dan Sistem Proteksi PLTA Tabang , Kalimantan Timur." pp. 95–99, 2017, doi: 10.12777/transmisi.19.2.95-99.
- [11] B. Winardi, N. B. P, and H. Analisa, "Resetting Koordinasi Ocr Gfr Pada Penyulang Pwi 09 Akibat Pembangunan Penyulang Baru Pwi 11," *Resetting Koord. Ocr Gfr Pada Penyulang Pwi 09 Akibat Pembang. Penyulang Baru Pwi 11*, vol. 19, no. 2, pp. 95–99, 2017, doi: 10.12777/transmisi.19.2.95-99.
- [12] E. Dermawan and D. Nugroho, "Analisa Koordinasi Over Current Relay Dan Ground Fault Relay Di Sistem Proteksi Feeder Gardu Induk 20 kV Jababeka," *Elektum J. Tek. Elektro*, vol. 14, no. 2, pp. 43–48, 2017.
- [13] Rachmad Hidayat Mastian Noor, *Analisis Koordinasi Over Current Relay Untuk Gangguan Phasa Dan Tanah Di Pt.Kpc (Kaltim Prima Coal)*, vol. 53, no. 9. 2017.
- [14] E. Yanuwirawan, M. Pujiantara, and R. Wahyudi, "Studi Koordinasi Proteksi Rele Arus Lebih dan Ground Fault Pada Sistem Eksisting PT. VICO Indonesia, Kalimantan Timur.," vol. 4, no. 2, pp. A148–A153, 2015.
- [15] A. Azmi and E. Hamdani, "Koordinasi Rele Pada jaringan Transmisi 150 kV," *Jom FTTEKNIK*, vol. 3, no. 2, pp. 1–5, 2016.