

## PERANCANGAN KOORDINASI PROTEKSI RELAY FEEDER DAN TRAFU PADA LB SUBSTATION DI PT PERTAMINA HULU ROKAN

Tio Jona Cesy Anggreani Napitupulu<sup>\*)</sup>, Susatyo Handoko, dan Trias Andromeda

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

\*) E-mail: [tjcesya15@gmail.com](mailto:tjcesya15@gmail.com)

### Abstrak

Sistem proteksi merupakan salah satu faktor utama dalam menjaga keandalan dan kontinuitas suplai listrik. Listrik dari pembangkit disalurkan oleh LB Substation ke feeder yang dilengkapi dengan komponen penting untuk produksi minyak. Pada November 2023, Substation ini pernah mengalami gangguan arus hubung singkat yang mengakibatkan operasi terganggu dan menimbulkan kerugian produksi. Solusi yang disarankan adalah perancangan koordinasi proteksi untuk setting Over Current Relay (OCR) dan Ground Fault Relay (GFR) di LB Substation. Perancangan dilakukan menggunakan metode simulasi software ETAP 19.0.1 serta perhitungan manual untuk melihat kinerja relai sebagai proteksi sistem. Pada kondisi existing ditemukan bahwa setting OCR dan GFR belum sesuai standar, sehingga dilakukan perhitungan ulang setting. Standar yang digunakan untuk mendapatkan setting optimal pada OCR dan GFR dalam perancangan ini adalah IEEE 242-2001 dan IEEE C37.112-1996. Pada standar IEEE 242-2001 diketahui bahwa nilai ideal untuk grading time adalah antara 0,2-0,4 s. Hasil perancangan ini dimaksudkan untuk menghindari trip bersamaan relai yang ada ketika terjadi gangguan. Dari hasil rekomendasi perbaikan relai proteksi OCR dan GFR didapatkan perancangan jaringan proteksi yang aman dan sesuai standar.

Kata Kunci: Sistem Proteksi, Over Current Relay, Ground Fault Relay, Gangguan Hubung Singkat

### Abstract

The protection system is a key factor in maintaining the reliability and continuity of power supply. Electricity from the power plant is distributed by the LB Substation to the feeder, which is equipped with essential components for oil production. In November 2023, this substation experienced a short-circuit current fault that disrupted operations and caused production losses. The solution suggested was the design of protection coordination for setting the Over Current Relay (OCR) and Ground Fault Relay (GFR) at the LB Substation. The design was carried out using the ETAP 19.0.1 software simulation method and manual calculations to evaluate the performance of the relays as a system protection. It was found that the existing OCR and GFR settings did not meet the standards, thus requiring recalculations. The standards used to obtain optimal settings for OCR and GFR in this design were IEEE 242-2001 and IEEE C37.112-1996. According to IEEE 242-2001, the ideal grading time is between 0.2-0.4 seconds. The result of this design is intended to avoid simultaneous relay trips during faults. The recommendations for OCR and GFR protection relay improvements resulted in a safe and standard-compliant protection network design.

Keywords: Protection System, Over Current Relay, Ground Fault Relay, Short-Circuit Disturbance

## 1. Pendahuluan

### 1.1 Latar Belakang

Sistem proteksi merupakan salah satu faktor utama dalam sistem kelistrikan. Pada sektor industri, sistem proteksi harus dapat dengan cepat dan akurat mengisolasi gangguan untuk meminimalkan dampaknya dan memastikan area lain tetap beroperasi. Dengan mengandalkan sistem proteksi terkoordinasi, waktu pemulihan gangguan dapat

diminimalkan, sehingga perlindungan peralatan industri lebih efektif [1-5].

Relai memainkan peran penting dalam sistem proteksi dengan mendeteksi gangguan dan mengambil tindakan untuk mengisolasi area yang terkena dampak. Relai yang umum digunakan dalam sistem distribusi meliputi Over Current Relay (OCR) dan Ground Fault Relay (GFR) [6-9].

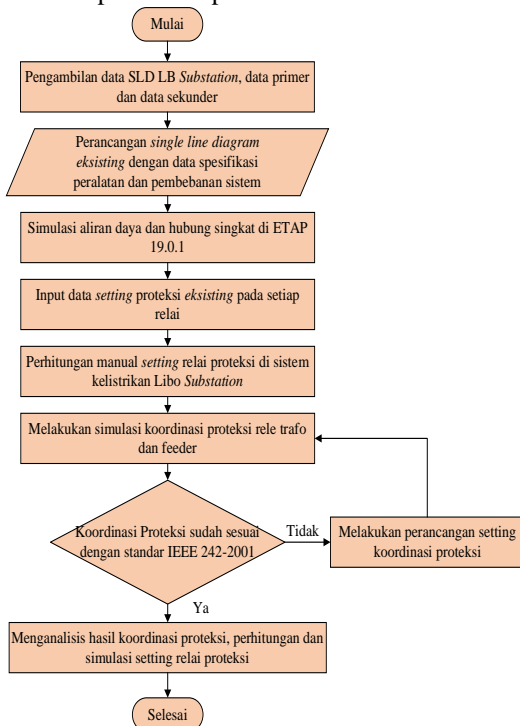
LB Substation di PT Pertamina Hulu Rokan mendistribusikan listrik ke area penting seperti *camp* dan sumur produksi. Pada November 2023, Substation ini pernah mengalami masalah koordinasi saat terjadi gangguan yang menyebabkan pemadaman listrik di seluruh sistem dan kerugian produksi sebesar 52 barel minyak [10].

Berdasarkan masalah tersebut, diperlukan pengaturan relai untuk mengisolasi gangguan dengan cepat dan menjaga kelangsungan produksi. Tugas Akhir ini bertujuan untuk merancang koordinasi relai *feeder* dan trafo di LB Substation. Perancangan ini menggunakan *software* ETAP 19.0.1 untuk simulasi gangguan hubung singkat dan koordinasi proteksi. Penentuan *setting* proteksi mengacu pada standar IEEE 242-2001 dan IEEE C37.112-1996. Tujuannya adalah untuk meminimalkan kerugian produksi dan meningkatkan efektivitas sistem proteksi [11-12].

## 2. Metode

### 2.1 Diagram Alir Penelitian

Diagram alir penelitian untuk sub topik perancangan koordinasi proteksi *relay feeder* dan *relay trafo* pada LB Substation dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1 Diagram alir penelitian

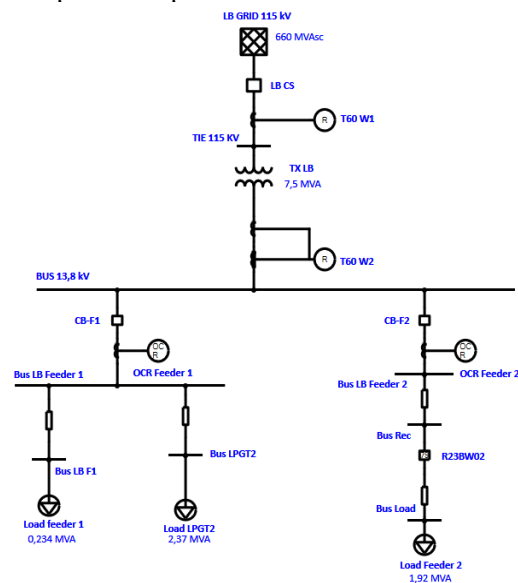
Metode simulasi melibatkan pengujian relai arus lebih melalui simulasi hubung singkat untuk memastikan kinerjanya sesuai standar IEEE 242-2001. Jika tidak sesuai, dilakukan perhitungan ulang nilai *setting*, pengujian, dan analisis koordinasi relai. Hasil simulasi yang memenuhi standar dijadikan rekomendasi perbaikan untuk meningkatkan performa dan koordinasi relai.

## 2.2 Pengumpulan Data

Berikut adalah data spesifikasi peralatan yang didapat dari LB Substation, meliputi data transformator, *single line diagram*, data arus hubung singkat sisi sumber, jenis penghantar dan panjang penghantar [13].

### 2.2.1 Single Line Diagram

*Single line diagram* LB Substation di PT Pertamina Hulu Rokan dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2 Single line diagram LB Substation

### 2.2.2 Data Power Grid 115 kV LB Substation

Data *power grid* untuk menyuplai sistem 115 kV LB Substation berisikan R1, R0, X1, X0, *short circuit* 1 fase dan *short circuit* 3 fase. Data menggunakan MVA base 100 MVA.

Tabel 1 Data sumber 115 kV LB Substation

Substation	R1 (pu)	X1 (pu)	R0 (pu)	X0 (pu)	I <sub>sc</sub> 3 fase (kA)	I <sub>sc</sub> 1 fase (kA)
LB Substation	0,044937	0,1447	0,021895	0,070502	3,313	3,997

### 2.2.3 Data Sistem LB Substation

Transformator yang digunakan di LB Substation yaitu trafo *step-down* 110/13,8 kV untuk dialirkan ke *feeder*, data spesifikasi trafo dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2 Data spesifikasi trafo LB Substation

Parameter	Spesifikasi
Tipe	3 Phase Transformer
Rated Power	10,5 MVA (MVA yang digunakan = 7,5 MVA)
Tegangan	115/13,8 KV
Frekuensi	60 Hz
Connection	Delta/Star
U <sub>d</sub> (Impedance Voltage)	8,15%
Pendinginan	OA/FA

Data spesifikasi dari VCB yang digunakan di LB Substation dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3 Data spesifikasi VCB LB Substation

Parameter	Spesifikasi
Tipe	AC High Voltage Vacuum circuit Breaker
Tegangan Maksimum	15,5 KV
Arus Kontinyu	1200 A
Frekuensi	60 Hz
Short Circuit Current	25 KA
Short Time Current Duration	3s

Data panjang, diameter dan jenis penghantar diperoleh dari LB Substation PT Pertamina Hulu Rokan.

Tabel 4 Data Penghantar LB Substation

Feeder	Line	Panjang (km)	Jenis Kabel	Diameter Kabel (kcmil)
Feeder-1	feeder-1	4,6	ACSR	336,4
	LPGT2	10,3	ACSR	336,4
Feeder-2	feeder-2 (1)	9,8	ACSR	336,4
	feeder-2 (2)	0,1	ACSR	336,4

Berdasarkan Tabel 4 dapat dilihat bahwa jenis kabel yang digunakan di LB Substation adalah ACSR yang memiliki diameter 336,4 kcmil atau sekitar 170 mm<sup>2</sup>. Nilai R dan X dari kabel ACSR untuk Z<sub>1</sub>/Z<sub>2</sub> berturut-turut adalah 0,278 dan 0,62 Ω/mile, sedangkan untuk Z<sub>0</sub> adalah 0,555 dan 2,97 Ω/mile [14].

### 3. Hasil dan Pembahasan

#### 3.1 Arus Hubung Singkat

Nilai setting untuk peralatan proteksi dapat ditentukan berdasarkan besarnya arus hubung singkat yang terjadi pada jaringan tersebut [15-17]

##### 3.1.1 Simulasi Arus Hubung Singkat

Tabel 5 dan 6 adalah hasil simulasi gangguan hubung singkat maksimum dan minimum menggunakan software ETAP 19.0.1.

Tabel 5 Hasil simulasi arus hubung singkat maksimum

Bus	Tegangan (kV)	Isc fase maksimum (kA)		
		3-L	L-L	L-G
TIE 115 kV	115	3,342	2,894	4,024
Bus 13,8 LB	13,8	3,639	3,152	3,707
Feeder-1 LB	13,8	3,639	3,152	3,707
Feeder-2 LB	13,8	3,639	3,152	3,707
Bus LB F1	13,8	1,930	1,671	1,261
Bus LPGT2	13,8	1,323	1,152	0,733
Rec	13,8	1,339	1,160	0,739
Bus Load	13,8	1,331	1,153	0,715

Tabel 6 Hasil simulasi arus hubung singkat minimum

Bus	Tegangan (kV)	Isc fase minimum (kA)		
		3-L	L-L	L-G
TIE 115 kV	115	3,313	2,870	3,997
Bus 13,8 LB	13,8	3,388	2,934	3,530
Feeder-1 LB	13,8	3,388	2,934	3,530
Feeder-2 LB	13,8	3,388	2,934	3,530
Bus LB F1	13,8	1,849	1,602	1,238
Bus LPGT2	13,8	1,172	1,015	0,684
Rec	13,8	1,211	1,049	0,712
Bus Load	13,8	1,203	1,042	0,706

#### 3.1.2 Perhitungan Impedansi Sumber

Pada perhitungan nilai impedansi sumber, diperlukan nilai arus hubung singkat sumber dalam MVA. Berdasarkan data pada tabel 1 nilai MVA<sub>sc</sub> pada LB Substation [18].

$$MVA_{sc} = \sqrt{3} \times kV_{ll} \times I_{hs} \quad (1)$$

$$MVA_{sc} = \sqrt{3} \times 115 \text{ kV} \times 3,313 \text{ kA}$$

$$MVA_{sc} = 660 \text{ MVA}$$

Perhitungan nilai impedansi sumber pada sisi primer dan sekunder menggunakan persamaan:

$$Z_{sumber \text{ 115 kV}} = \frac{kV^2}{MVA} \quad (2)$$

$$Z_{sumber \text{ 115 kV}} = \frac{(115 \text{ kV})^2}{660 \text{ MVA}}$$

$$Z_{sumber \text{ 115 kV}} = j20,04 \Omega$$

Diketahui nilai impedansi urutan nol pada LB Grid 115 kV adalah:

$$\%Z_0 (pu) = 2,18951 + j7,05021 \Omega$$

$$\%Z_0 (pu) = \sqrt{2,18951^2 + 7,05021^2}$$

$$\%Z_0 (pu) = 7,38 \text{ pu}$$

Sehingga nilai impedansi urutan nol pada sumber dapat dihitung menggunakan persamaan 3 [19].

$$Z_{0\Omega} = \frac{kV^2 \times \%Z_0 (pu)}{MVA \times 100} \quad (3)$$

$$Z_{0\Omega} = \frac{115^2 \times 7,38}{100 \times 100}$$

$$Z_{0\Omega} = j9,7632 \Omega$$

$$Z_{0\Omega} = j9,7632 \Omega$$

Langkah selanjutnya adalah mencari nilai impedansi sumber pada sisi sekunder 13,8 kV dengan menggunakan persamaan:

$$Z_{sumber \text{ 13,8 kV}} = \frac{kV(\text{sekunder})^2}{kV(\text{primer})^2} \times Z_{sumber \text{ 115 kV}}$$

$$Z_{sumber \text{ 13,8 kV}} = \frac{(13,8 \text{ kV})^2}{(115 \text{ kV})^2} \times j20,04 \Omega$$

$$Z_{sumber \text{ 13,8 kV}} = j0,29 \Omega$$

#### 3.1.3 Perhitungan Impedansi Trafo

Perhitungan nilai impedansi trafo pada LB Substation menggunakan persamaan 4.

$$Z_{T100\%} = \frac{kV^2}{MVA_{trafo}} \quad (4)$$

$$Z_{T100\%} = \frac{(13,8 \text{ kV})^2}{7,5 \text{ MVA}} = j25,39 \Omega$$

Maka nilai impedansi trafo berdasarkan besar reaktansi 8,15%:

$$Z_{Trafo} = Z_{T\%} \times Z_{T100\%} \quad (5)$$

$$Z_{Trafo} = 8,15\% \times j25,39 \Omega$$

$$Z_{Trafo} = j2,069 \Omega$$

### 3.1.4 Perhitungan Impedansi LB Substation

Nilai impedansi pada tiap saluran di *feeder* dapat dicari dengan persamaan 6:

$$Z = l \times Z \quad (6)$$

### 3.1.5 Perhitungan Impedansi Ekivalen LB Substation

Impedansi ekivalen merupakan total nilai impedansi pada sistem LB Substation. Nilai impedansi ekivalen pada urutan positif, negatif dan nol dapat dicari menggunakan persamaan:

$$Z_{1 \text{ ekivalen}} = Z_{Sumber} + Z_{Trafo} + Z_{1 \text{ saluran}} \quad (7)$$

$$Z_{0 \text{ ekivalen}} = 3 R_N + Z_{Trafo} + Z_{0 \text{ LB F1}} \quad (8)$$

Dengan menggunakan persamaan di atas maka akan didapatkan nilai impedansi ekivalen pada setiap bus yang dipilih pada LB Substation sesuai dengan Tabel 7.

Tabel 7 Impedansi ekivalen

Bus	Panjang Jaringan (km)	Impedansi ekivalen (Z1&Z2)	Impedansi ekivalen (Z0)
TIE 115 KV	-	j20,04 Ω	j9,7632 Ω
13,8 kV LB	-	j2,359 Ω	j2,069 Ω
Feeder-1 LB	-	j2,359 Ω	j2,069 Ω
Feeder-2 LB F1	4,6	0,8 + j4,16 Ω	1,6 + j10,56 Ω
LPGT2	10,3	1,78 + j6,39Ω	3,6 + j21,08 Ω
Rec	9,8	1,69 + j6,19 Ω	3,38 + j20,1 Ω
Load	9,9	1,71 + j6,23 Ω	3,42 + j20,3 Ω

### 3.1.6 Perhitungan Arus Hubung Singkat

Perhitungan arus hubung singkat dilakukan pada tiap bus menggunakan persamaan [20-21].

$$I_{1-g} = \frac{3 \times V_{LN}}{Z_{1 \text{ ekivalen}} + Z_{2 \text{ ekivalen}} + Z_{0 \text{ ekivalen}}} \quad (9)$$

$$I_{L-l} = \frac{V_{LL}}{Z_{1 \text{ ekivalen}} + Z_{2 \text{ ekivalen}}} \quad (10)$$

$$I_{3ph} = \frac{V_{LN}}{Z_{1 \text{ ekivalen}}} \quad (11)$$

Dari persamaan yang ada kemudian didapatkan nilai arus hubung singkat 3 fase, 2 fase dan 1 fase ke tanah. Adapun

hasil perhitungan arus hubung singkat yang telah didapatkan tertera pada Tabel 8.

Tabel 8 Hasil perhitungan arus hubung singkat

Gangguan di Bus	3-L hitung (A)	L-L hitung (A)	L-G hitung (A)
TIE 115 kV	3313,33	2869,26	3996,25
13,8 kV	3377,46	2924,97	3521,78
LB Feeder-1	3377,46	2924,97	3521,78
LB Feeder-2	3377,46	2924,97	3521,78
LB F1	1881,4	1629,351	1248,68
LPGT2	1201	1040,13	690,9
Rec	1240,6	1074,39	719
Load	1232,51	1067	712

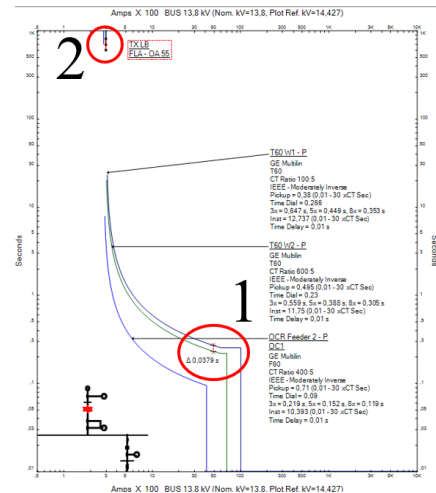
## 3.2 Analisis dan Perancangan Koordinasi Setting Relai

Data *setting* relai pada kondisi *existing* digunakan sebagai bahan evaluasi untuk melakukan perancangan koordinasi. Tabel 9 merupakan data spesifikasi dan *setting* relai *existing* di LB Substation.

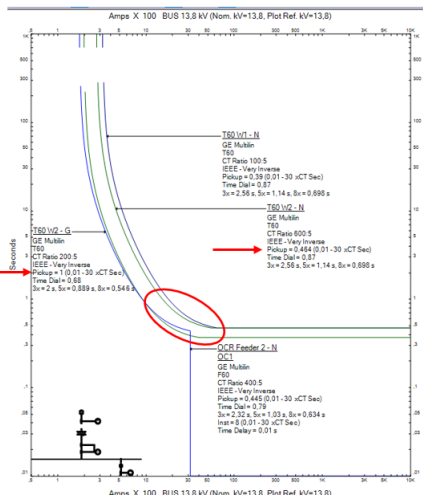
Tabel 9 Spesifikasi dan *setting existing* relai di LB Substation

Relai	T60 W1	T60 W2	F60 OCR F2
ID	T60 W1	T60 W2	OCR F2
Merk	GE Multilin	GE Multilin	GE Multilin
Tipe	T60	T60	F60
Rasio CT	100A/5A	600A/5A	400A/5A
Karakteristik	<i>Moderately Inverse</i>	<i>Moderately Inverse</i>	<i>Moderately Inverse</i>
<i>Iset<sub>OCR</sub></i>	38,8 A	297 A	284 A
<i>TDM<sub>OCR</sub></i>	0,266	0,23	0,09
<i>Iset<sub>GFR</sub></i>	-	200	-
<i>TDM<sub>GFR</sub></i>	-	0,68	-
<i>Iset<sub>neutral</sub></i>	39 A	278,4	182
<i>TDM<sub>neutral</sub></i>	0,87	0,87	0,79

Berdasarkan data *setting existing* relai pada Tabel 9 dilakukan analisis dengan meninjau kurva TCC (*Time Current Curve*) menggunakan *software* ETAP yang dapat dilihat pada Gambar 3 dan Gambar 4.



Gambar 3 Time current curve OCR LB Substation existing



Gambar 4 Time current curve GFR LB Substation existing

Pada Gambar 3 dan Gambar 4 dapat dilihat bahwa setting arus dan waktu OCR-GFR masih belum sesuai dengan standar IEEE 242-2001. Terdapat kesalahan pada setting pickup lowset T60 W2 di bawah nilai FLA Trafo TX-LB, yang tidak sesuai dengan teori  $1,05 < I_{set} < 1,4 FLA$ . Selain itu, setting waktu operasi relai T60 W1 dan T60 W2 kurang dari 0,2 detik, serta kurva relai OCR F60 Feeder-2 dan relai T60 W2 saling berhimpit yang berpotensi menyebabkan kesalahan trip. Setting arus GFR T60 W2 juga terlampaui tinggi, yaitu 0,89 dan 0,64 kali FLA Trafo TX-LB sekunder, padahal batas pemilihan relai gangguan tanah seharusnya 0,1-0,3 kali kapasitas arus beban penuh. Oleh karena itu dilakukan perancangan koordinasi proteksi yang sesuai standar sebagai rekomendasi setting relai.

### 3.2.1 Setting Relai OCR-GFR pada LB Substation

Perhitungan setting nilai arus dan waktu OCR dan GFR yang dapat dicari melalui Persamaan 12-14. Nilai grading time yang dipilih adalah 0,2 detik [12], [22-24].

#### 1. Perhitungan Setting Relai F60 Feeder-2

- Manufaktur : GE Multilin (F60)
- CT Rasio : 400/5 Ampere
- FLA (line Feeder-2 ampacity) : 296,6 Ampere
- Tipe kurva : Moderately Inverse
- Isc max : 3,639 kA (3-L)
- Isc min : 2,934 kA (L-L)
- Isc fase-tanah : 3,53 kA

#### Time Overcurrent Pickup OCR

$$1,05 FLA \leq I_{set} \leq 1,4 FLA \quad (12)$$

$$1,05 \times 296,6 \leq I_{set} \leq 1,4 \times 296,6$$

$$311,43 \leq I_{set} \leq 415,24$$

Dipilih Iset = 344 A

$$Tap_{ocr} = \frac{344}{400}$$

$$Tap_{ocr} = 0,86$$

#### Time Dial Multiplier OCR

Dipilih waktu operasi = 0,3 detik

$$T = \left[ \frac{0,0515}{\left( \frac{I_{sc maks}}{I_{pickup}} \right)^{0,02} - 1} + 0,114 \right] \times TDM \quad (13)$$

$$0,3 = \left[ \frac{0,0515}{\left( \frac{3639}{344} \right)^{0,02} - 1} + 0,114 \right] \times TDM$$

$$TDM_{ocr} = 0,25$$

TDM dipilih 0,25 atau di atasnya, dipilih TDM = 0,32

#### Instantaneous Pickup Setting OCR

$$1,6 FLA < I_{set} < 0,8 I_{sc Minimum} \quad (14)$$

$$502,048 A < I_{set} < 2347,2 A$$

$$\frac{502,048}{400} A < Tap < \frac{2321,6}{400} A$$

$$1,255 In < Tap < 5,868 In$$

$$Tap \text{ yang dipilih} = 3,4 In$$

$$I_{set} = 3,4 \times \frac{400}{1} = 1360 A$$

#### Setting Arus Netral

$$I_{set_{netral}} = 0,3 \times 296,6 = 88,98 A$$

$$Tap_{netral} = \frac{I_{set_{GFR}}}{CT \text{ fasa}} = \frac{88,98}{400} \approx 0,22$$

#### Time Dial Multiplier Netral

Kurva yang digunakan adalah very inverse

Dipilih waktu operasi 0,3 detik

$$T = \left[ \frac{19,61}{\left( \frac{I_{sc 1 fasa - tanah}}{I_{pickup}} \right)^2 - 1} + 0,491 \right] \times TDM$$

$$0,3 = \left[ \frac{19,61}{\left( \frac{3530}{88,98} \right)^2 - 1} + 0,491 \right] \times TDM$$

$$= 0,6$$

TDM dapat dipilih 0,6 atau di atasnya, dipilih TDM= 0,74

## 2. Perhitungan Setting Relai T60 W2

- Manufaktur : GE Multilin (T60)
- CT Rasio : 600/5 Ampere
- FLA Trafo (Primer) : 313,78 Ampere
- Tipe kurva : Moderately inverse
- Isc max : 3,639 kA (3-L)
- Isc min : 2,934 kA (L-L)
- Isc 1 fase ke tanah : 3,53 kA

#### Time Overcurrent Pickup OCR

$$1,05 FLA \leq I_{set} \leq 1,4 FLA$$

$$1,05 \times 313,78 \leq I_{set} \leq 1,4 \times 313,78$$

$$329,5 \leq I_{set} \leq 439,3$$

Dipilih Iset = 360 A

$$Tap_{ocr} = \frac{360}{600}$$

$$Tap_{ocr} = 0,6$$

#### Time Dial Multiplier OCR

Dipilih waktu operasi = 0,5 s (grading time  $\Delta t = 0,2$  s)

$$T = \left[ \frac{0,0515}{\left( \frac{I_{sc \text{ maksimum}}}{I_{pickup}} \right)^{0,02} - 1} + 0,114 \right] \times TDM$$

$$0,5 = \left[ \frac{0,0515}{\left( \frac{3639}{360} \right)^{0,02} - 1} + 0,114 \right] \times TDM$$

$$TDM_{ocr} = 0,416$$

TDM dapat dipilih 0,416 atau di atasnya, dipilih TDM=0,527

**Instantaneous Pickup Setting OCR**

$$1,6 FLA < Iset < 0,8 I_{sc \text{ Minimum}}$$

$$502,048 A < Iset < 2347,2 A$$

$$\frac{502,048}{600} A < Tap < \frac{2347,2}{600} A$$

$$0,84 In < Tap < 3,91 In$$

$$Tap \text{ yang dipilih} = 3,5 In$$

$$Iset = 3,5 \times \frac{600}{1} = 2100 A$$

**Setting Arus GFR**

$$Iset_{GFR} = 0,3 \times 313,78 = 94,13 A$$

$$Tap_{GFR} = \frac{Iset_{GFR}}{CT \text{ ground}} = \frac{94,13}{200} = 0,47$$

**Time Dial Multiplier GFR**

Dipilih waktu operasi 0,5 detik

$$T = \left[ \frac{19,61}{\left( \frac{I_{sc \ 1 \ fasa - tanah}}{I_{pickup}} \right)^2 - 1} + 0,491 \right] \times TDM$$

$$0,5 = \left[ \frac{19,61}{\left( \frac{3530}{94} \right)^2 - 1} + 0,491 \right] \times TDM$$

$$TDM_{gfr} = 0,99$$

$$TDM_{gfr} \approx 1$$

Dipilih TMS = 1,11

**Setting Arus Netral**

$$Iset_{GFR} = 0,3 \times 313,78 = 94 A$$

$$Tap_{GFR} = \frac{Iset_{GFR}}{CT \ fasa} = \frac{94}{600} = 0,15667$$

$$Tap_{GFR} \approx 0,16$$

**Time Dial Multiplier Netral**

Dipilih waktu operasi 0,7 detik (0,5 + 0,2 s)

$$T = \left[ \frac{19,61}{\left( \frac{I_{sc \ 1 \ fasa - tanah}}{I_{pickup}} \right)^2 - 1} + 0,491 \right] \times TDM$$

$$0,7 = \left[ \frac{19,61}{\left( \frac{3530}{94} \right)^2 - 1} + 0,491 \right] \times TDM$$

$$TDM_{netral} = 1,386$$

Dipilih TDM = 1,48

**3. Perhitungan Setting Relai T60 W1**

Manufaktur	: GE Multilin (T60)
CT Rasio	: 100/5 Ampere
FLA Trafo (Primer)	: 39,36 Ampere
Tipe kurva	: <i>Moderately inverse</i>
Isc max	: 3,342 kA (3-L)
Isc min	: 2,87 kA (L-L)
Ihs-1 fase tanah	: 3,997 kA

**Time Overcurrent Pickup OCR**

$$1,05 FLA \leq Iset \leq 1,4 FLA$$

$$1,05 \times 39,36 \leq Iset \leq 1,4 \times 39,36$$

$$41,328 \leq Iset \leq 55,104$$

$$\frac{41,328}{100} < Tap < \frac{55,104}{100}$$

$$0,41328 < Tap < 0,55104$$

$$Dipilih Iset = 47,2 A$$

$$Tap = 0,472$$

**Time Dial Multiplier OCR**

Dipilih waktu operasi = 0,5 detik

$$T = \left[ \frac{0,0515}{\left( \frac{I_{sc \ maksimum}}{I_{pickup}} \right)^{0,02} - 1} + 0,114 \right] \times TDM$$

$$0,5 = \left[ \frac{0,0515}{\left( \frac{3342}{47,2} \right)^{0,02} - 1} + 0,114 \right] \times TDM$$

$$TDM_{ocr} = 0,72 \text{ (Dipilih TDM 0,78)}$$

**Instantaneous Pickup Setting OCR**

$$1,6 FLA < Iset < 0,8 I_{sc \ Minimum}$$

$$63 A < Iset < 2296 A$$

$$\frac{63 A}{100} < Tap < \frac{2296}{100} A$$

$$0,63 In < Tap < 22,96 In$$

$$Tap \text{ yang dipilih} = 9,488 In$$

$$Iset = 9,488 \times \frac{100}{1}$$

$$= 9488 A$$

Dipilih waktu tunda = 0,7 s

**Setting Arus Netral**

$$Iset_{Netral} = 0,3 \times 100 = 30 A$$

$$Tap_{GFR} = 0,3$$

**Time Dial Multiplier Netral**

Dipilih waktu operasi 0,9 detik

$$T = \left[ \frac{19,61}{\left( \frac{I_{sc \ 1 \ fasa - tanah}}{I_{pickup}} \right)^2 - 1} + 0,491 \right] \times TDM$$

$$0,9 = \left[ \frac{19,61}{\left( \frac{3997}{30} \right)^2 - 1} + 0,491 \right] \times TDM$$

$$TDM_{netral} = 1,83$$

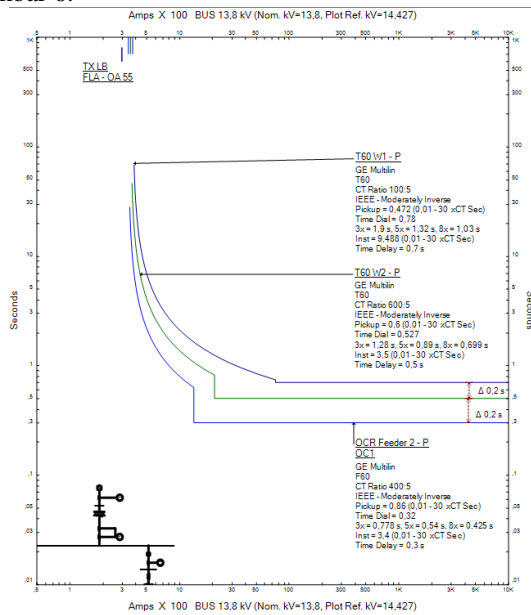
Dipilih TDM = 1,85

Hasil perhitungan *setting* dari relai T60 W1, T60 W2 dan OCR Feeder-2 LB disajikan dalam Tabel 10.

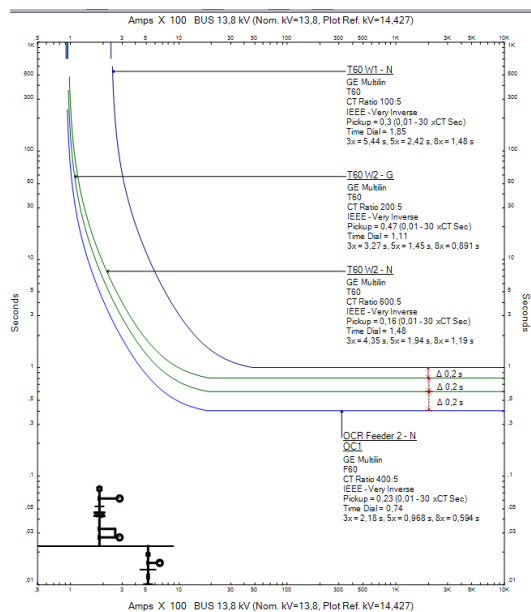
Tabel 10 Hasil rekomendasi setting OCR-GFR LB Substation

Relai	OCR		GFR-Netral	
	Iset (A)	TMS	Iset	TMS
T60 W1	47,2	0,78	30 A	1,85
T60 W2	360	0,527	96 A	1,48
F60 Feeder-1	344	0,32	92 A	0,74
F60 Feeder-2	344	0,32	92 A	0,74

Gambar kurva TCC dari hasil perhitungan setting OCR-GFR pada tabel 10 dapat dilihat pada Gambar 5 dan Gambar 6.



Gambar 5 Time current curve OCR rekomendasi setting



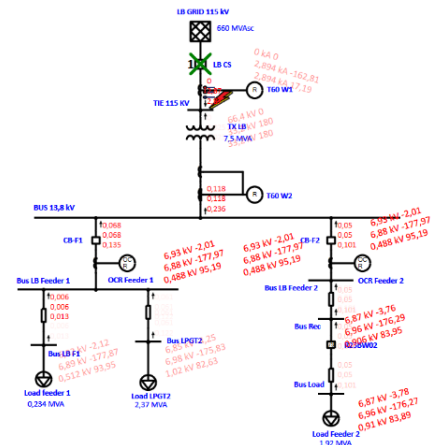
Gambar 6 Time current curve GFR rekomendasi setting

Berdasarkan Gambar 5 dan Gambar 6 dapat dilihat bahwa setting arus OCR dan GFR sudah sesuai dengan standar

242-2001. Kemudian tidak ada kurva yang saling memotong karena *grading time* antar relai sudah sesuai dengan standar yaitu 0,2-0,4 s.

### 3.2.2 Pengujian Koordinasi Hasil Rekomendasi Setting OCR-GFR

1. Gangguan Hubung Singkat 2 Fase di Bus TIE 115 kV Hasil simulasi koordinasi dan urutan kerja relai ketika terjadi gangguan 2 fase di bus TIE 115 dapat dilihat pada Gambar 7 dan Gambar 8.



Gambar 7 Koordinasi OCR saat gangguan 2 fase di bus TIE 115 kV

Sequence-of-Operation Events - Output Report: Untitled

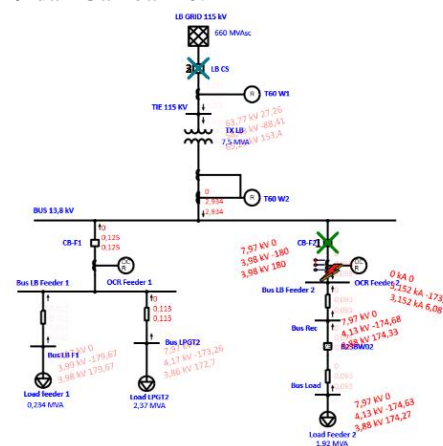
Line-to-Line (Symmetrical) fault on bus: TIE 115 kV

Time	ID	If (kA)	T1 (ms)	T2 (ms)	Condition
700	T60 W1	2,87	700		Phase - OC1 - 50
750	LB CS	50,0			Tripped by T60 W1 Phase - OC1 - 50

Gambar 8 Urutan kerja OCR saat gangguan 2 fase di bus TIE 115 kV

2. Gangguan Hubung Singkat 2 fase di Bus LB Feeder-2

Hasil simulasi koordinasi dan urutan kerja relai ketika terjadi gangguan 2 fase di bus TIE 115 dapat dilihat pada Gambar 9 dan Gambar 10.



Gambar 9 Koordinasi OCR saat gangguan 2 fase di bus LB Feeder-2

Time	ID	If (kA)	T1 (ms)	T2 (ms)	Condition
300	OCR Feeder 2	3,059	300		Phase - OC1 - 50
350	CB-F2		50,0		Tripped by OCR Feeder 2 Phase - OC1 - 50
500	T60 W2	2,934	500		Phase - OC1 - 50
550	LB CS		50,0		Tripped by T60 W2 Phase - OC1 - 50
1002	T60 W1	0,407	1002		Phase - OC1 - 51
1052	LB CS		50,0		Tripped by T60 W1 Phase - OC1 - 51

Gambar 10 Urutan kerja OCR gangguan 2 fase di bus LB Feeder-2

Pengujian koordinasi hasil *setting* rekomendasi menunjukkan bahwa relai T60 W1, T60 W2 dan OCR Feeder-2 di LB Substation sudah bekerja dengan baik sesuai dengan standar acuan. Relai yang terletak paling jauh dari lokasi gangguan memerlukan waktu lebih lama untuk *trip* dibandingkan dengan relai yang terletak dengan lokasi gangguan. Sebaliknya semakin dekat relai dengan lokasi gangguan, maka semakin cepat relai tersebut akan mendeteksi dan mengatasi gangguan. Relai terdekat akan *trip* terlebih dahulu untuk mengisolasi gangguan dan melindungi bagian jaringan yang lebih luas.

#### 4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil simulasi hubung singkat pada LB Substation, didapatkan nilai arus hubung singkat terbesar 4024 A dan terkecil 706 A saat terjadi gangguan satu fase ke tanah. Arus hubung singkat tiga fase dan dua fase terbesar masing-masing adalah 3639 A dan 3152 A. Kemudian, didapatkan bahwa *setting* arus *Over Current Relay* (OCR) pada kondisi *existing* belum sesuai standar, yakni berada di bawah nilai *Full Load Ampere* (FLA) trafo. *Setting Ground Fault Relay* (GFR) juga diatur di atas 30% arus beban penuh yang seharusnya 10%-30%. *Grading time* antar relai kurang dari 0,2 detik, yang seharusnya 0,2-0,4 detik sesuai standar IEEE 242-2001. Akibatnya, relai dapat mengalami *trip* bersamaan saat terjadi gangguan. Hasil rekomendasi *Setting* OCR primer trafo TX-LB (T60 W1) yaitu arus *pickup* dibuat sebesar 47,2 A dengan *Time Multiplier Setting* (TMS) 0,78, sementara pada sisi sekunder trafo TX-LB (T60 W2) arus *pickup* diatur sebesar 360 A dengan TMS 0,527. Rasio *Current Transformer* (CT) pada sisi primer adalah 100:5 dan pada sisi sekunder 600:5. *Setting* OCR Feeder-1 dan Feeder-2 memiliki arus 344 A dengan TMS 0,32 dan rasio CT 400:5. *Setting* GFR primer trafo TX-LB (T60 W1) memiliki arus *pickup* netral sebesar 30 A dengan TMS 1,85. Pada sisi sekunder, *setting* arus netral sebesar 96 A dan *ground* 94 A dengan TMS masing-masing 1,48 dan 1,11. Rasio CT untuk *setting ground* adalah 200:5. *Setting* GFR Feeder-1 dan Feeder-2 memiliki arus 92 A dengan TMS 0,23. *Grading time* antar relai diatur menjadi 0,2 detik agar sesuai dengan standar IEEE. Waktu kerja OCR masing-masing adalah 0,7; 0,5; dan 0,3 detik. Hasil *setting* ulang ini telah diuji dan sesuai dengan standar IEEE 242-2001 dan IEEE C37.112-1996. Pengujian koordinasi hasil rekomendasi menunjukkan bahwa relai bekerja dengan baik.

#### Referensi

- [1] P. M. Anderson, *Power System Protection*. 1998.
- [2] Y. G. (Yeshwant G.) Paithankar and S. R. Bhide, *Fundamentals of Power System Protection*. Prentice-Hall of India, 2003.
- [3] C. Rizal and A. Azis, "Analisa Setting Relai Arus Lebih (OCR) Dan Relai Gangguan Tanah (GFR) Pada Penyulang Gurami Gardu Induk Sungai Kedukan Palembang," *Jurnal Ampere*, vol. 7, no. 1, 2022, doi: 10.31851/ampere.
- [4] G. Budi Santosa, I. Gede Dyana Arjana, and I. Wayan Arta Wijaya, "Studi Kerja Proteksi Relai OCR dan GFR pada Penyulang Uluwatu Setelah Rekonfigurasi," *Jurnal Spektrum*, vol. 8, no. 3, pp. 112–119, 2021.
- [5] B. Choirawan, F. Pujiyanto, and M. A. Luhur Pambudi, "Analisis Gangguan Undervoltage dalam Instalasi Jaringan Power Listrik Kapal," *Majalah Ilmiah Bahari Jogja*, vol. 21, no. 2, pp. 19–30, Jul. 2023, doi: 10.33489/mibj.v21i2.327.
- [6] M. Y. Suliman and M. Ghazal, "Design and Implementation of Overcurrent Protection Relay," *Journal of Electrical Engineering and Technology*, vol. 15, no. 4, pp. 1595–1605, Jul. 2020, doi: 10.1007/s42835-020-00447-0.
- [7] S. P. Ramli, M. Usama, H. Mokhlis, W. R. Wong, and M. H. Hussain, "Optimal directional overcurrent relay coordination based on computational intelligence technique: A review," *Turkish Journal of Electrical Engineering and Computer Sciences*, vol. 29, no. 3, pp. 1284–1307, 2021, doi: 10.3906/elk-2012-98.
- [8] Y. Marniati and A. Fahirahanisa, "Evaluasi Penambahan Step Relai Sbef Bay Transformator Daya 60 MVA Gi Mariana Palembang Dengan Etap 12.6.0," *Jurnal Teknik Elektro Institut Teknologi Padang*, vol. 10, no. 1, pp. 63–70, Jan. 2021, doi: 10.21063/JTE.2021.31331010.
- [9] F. Rohman Syah, S. I. Haryudo, U. T. Kartini, and N. Kholis, "Analisis Hubung Singkat Pada Sistem Distribusi 20 kV PT. Pertamina Ep Asset 4 Field Cepu Distrik Ledok Menggunakan ETAP 12.6.0," *Jurnal Teknik Elektro*, vol. 10, no. 3, pp. 699–706, 2021.
- [10] PT Pertamina Hulu Rokan Duri, "Data Pemadaman Listrik LB Substation," Oct. 2023.
- [11] *IEEE Std 242-2001 Protection and Coordination of Industrial and Commercial Power Systems*. United States of America: Institute of Electrical and Electronics Engineers, 2001.
- [12] *T60 Transformer Management Relay UR Series Instruction Manual*. Canada: GE Multilin, 2009.
- [13] PT Pertamina Hulu Rokan Duri, *Power Generation & Transmission Modul 3*. 2006.
- [14] L. Kirkpatrick, Ed., *Aluminum Electrical Conductor Handbook*, 3rd ed. Aluminum Association Publication, 1989.
- [15] A. Al Asyad, M. Pujiantara, and D. A. Asfani, "Evaluasi Kegagalan Koordinasi Proteksi Akibat Hubung Singkat pada Kelistrikan PT. Pertamina RU V Balikpapan," *Jurnal Teknik ITS*, vol. 9, no. 2, pp. B14–B21, 2020.
- [16] M. Sany, A. Saputro, S. Prasetyono, and M. Ghozali, "Coordination Analysis of Ground Fault Relay Setting for 1 Phase Ground Short Circuit Analisa Koordinasi Setting Ground Fault Relay Terhadap Hubung Singkat 1 Fasa Tanah," *MALCOM*, vol. 1, no. 2, pp. 109–117, Oct. 2021.
- [17] A. Rizqi Tsaniy Arif



- and S. Nur Yahya, “Simulasi Proteksi Transformator Daya Dengan Relai Diferensial Dual Bias Presentase Menggunakan Perangkat Lunak PSCAD,” *Vertex Elektro*, vol. 13, no. 01, pp. 25–29, Feb. 2021.
- [18] A. Multi and T. Addaus, “Analisa Proteksi Over Current Relay (OCR) dan Ground Fault Relay (GFR) pada Transformator Daya Gardu Induk,” *Sainstech*, vol. 32, no. 1, pp. 1–8, 2022, doi: 10.37277/stch.v32i1.
- [19] W. Sarimun, *Proteksi Sistem Distribusi Tenaga Listrik*. Depok: Daramond, 2012.
- [20] D. P. Prasetyo, M. Pujiantara, and S. Anam, “Evaluasi Koordinasi Proteksi Arus Lebih Akibat Gangguan yang Menyebabkan Blackout pada PT PJB Unit Pembangkitan Cirata,” *Teknik ITS*, vol. 12, no. 2, 2023.
- [21] F. Djauhari, I. Kusuma, E. R. Nugroho, and A. L. Niam, “Evaluasi Sistem Proteksi dan Koordinasi Relai Arus lebih Gedung Mall XYZ Menggunakan ETAP 19.0.1,” *Jurnal Ilmiah Giga*, vol. 25, no. 2, pp. 76–87, Nov. 2022, doi: 10.47313/jig.v25i2.1915.
- [22] Firdaus, F. S, S. Kasim, and A. Imran, “Studi Koordinasi Rele Pengaman (Over Current Relay dan Ground Fault Relay) Pada Sistem Kelistrikan PLTU, PT. Rekind Daya Mamuju Dengan Menggunakan Program ETAP 12.6,” *Journal of Electrical and Electronic Engineering-UMSIDA*, vol. 7, no. 1, pp. 94–106, Apr. 2023, doi: 10.21070/jeeeu.v7i1.
- [23] I. Lazar, *Electrical System Analysis and Design for Industrial Plant*, no. 2. McGraw-Hill, 1980. doi: 10.33489/mibj.v2i1i2.327.
- [24] 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 (SENTRINOV)*, vol. 9, no. 1, pp. 1131–1139, 2023.