

# Optimalisasi Relay OCR dan GFR pada Sistem Interkoneksi Antara Trafo II GI Liwa 20 Kv PLN dan PLTMH Batu Brak untuk Meminimalisir Terjadinya Sympathetic Trip

Ridho Widodo<sup>1\*</sup>, Khairudin<sup>2</sup>, Lukmanul Hakim<sup>3</sup>

Universitas Lampung; Jl. Prof. Sumantri Brojonegoro No.1 Bandar Lampung 35145 Indonesia; telp +62 721 701609 Fax +62 721 702767.

Received: 06-10-2025  
Accepted: 20-10-2025

## Keywords:

Sympathetic Trip;  
Sistem Interkoneksi;  
OCR;  
GFR.

## Correspondent Email:

[ridhowidodounila@gmail.com](mailto:ridhowidodounila@gmail.com)

**Abstrak.** Peningkatan kebutuhan energi listrik nasional mendorong pemanfaatan sumber energi terbarukan, salah satunya melalui Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (PLTMH). Penelitian ini berfokus pada sistem interkoneksi antara PLTMH Batu Brak dan Gardu Induk (GI) Liwa 20 kV PLN yang mengalami gangguan proteksi berupa sympathetic trip. Gangguan ini menyebabkan pemutus tenaga (PMT) pada penyulang yang tidak terganggu ikut terputus. Tujuan utama penelitian ini adalah merancang setting koordinasi sistem proteksi menggunakan relay OCR (Over Current Relay) dan GFR (Ground Fault Relay) untuk menghilangkan gangguan sympathetic trip serta meningkatkan keandalan dan kontinuitas suplai listrik. Simulasi ini menggunakan ETAP12.6 dengan melihat kurva trip pada setiap penyulang. Hasil analisis menunjukkan bahwa dengan pengaturan ulang (re-setting) nilai pickup arus dan time dial setting pada OCR dan GFR, sympathetic trip dapat dihindari dan sistem interkoneksi dapat bekerja lebih selektif dan andal. Penelitian ini memberikan kontribusi praktis dalam pengembangan sistem proteksi pada jaringan interkoneksi yang terintegrasi dengan pembangkit energi terbarukan, serta dapat dijadikan referensi untuk kajian dan penerapan serupa di wilayah lain.

**Abstract.** The growing need for electricity in Indonesia has led to a greater reliance on renewable energy sources, with micro-hydro power plants (PLTMH) being a key example. This study examines the connection system between the Batu Brak PLTMH and the Liwa 20 kV PLN substation's transformer II, which faced a protection issue known as a sympathetic trip. This fault caused the circuit breaker on an unrelated feeder to also trip. The main goal of this study is to adjust the protection settings using OCR (Over Current Relay) and GFR (Ground Fault Relay) to stop these unwanted trips. A number of simulations were conducted using ETAP12.6 to check the trip behavior on each feeder. The analysis results show that by adjusting the current pickup values and time dial settings on the OCR and GFR relays, sympathetic trips can be avoided, which improves the reliability and selectivity of the connected system. The outcomes of this study are expected to provide useful guidance for creating protection systems in interconnected networks that include renewable energy plants. Additionally, the findings can serve as a helpful reference for similar research and applications in other areas.

## 1. PENDAHULUAN

Permintaan masyarakat terhadap energi listrik terus mengalami peningkatan seiring pertumbuhan ekonomi dan populasi. Untuk menghindari terjadinya defisit energi listrik

yang dapat menyebabkan pemadaman bergilir, maka perlu dilakukan penambahan kapasitas pembangkit listrik secara berkelanjutan. Indonesia, sebagai negara dengan potensi energi baru terbarukan yang melimpah,

memiliki peluang besar dalam memanfaatkan sumber daya tersebut [1]. Indonesia memiliki target untuk tahun 2025 mempunyai 23% pembangkit listrik yang menggunakan energy terbarukan [2]. Salah satu sumber energi terbarukan yang potensial dan ramah lingkungan adalah Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (PLTMH).

Dalam sistem kelistrikan, interkoneksi antar pembangkit dan gardu induk memegang peran penting untuk menjamin kontinuitas dan keandalan pasokan energi. Peningkatan keandalan system jaringan interkoneksi ini dapat mencegah terjadinya pemadaman beban sebagian dan pemadaman total yang diakibatkan oleh gangguan pada system jaringan listrik [3]. Salah satu contoh implementasi sistem interkoneksi adalah antara PLTMH Batu Brak dan Gardu Induk (GI) Liwa 20 kV milik PT PLN (Persero). PLTMH Batu Brak sebagai pembangkit mikrohidro terhubung secara langsung ke sistem distribusi 20 kV GI Liwa dalam menyuplai energi ke jaringan distribusi.

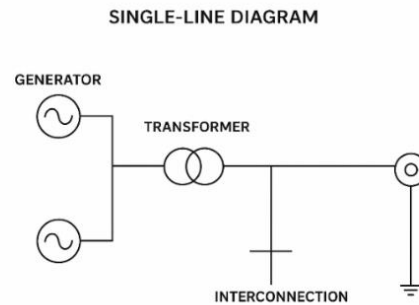
Untuk menjamin keamanan dan keandalan sistem interkoneksi tersebut, diperlukan sistem proteksi yang handal. Sistem proteksi berfungsi mendeteksi dan memutuskan bagian jaringan yang mengalami gangguan guna mencegah kerusakan lebih lanjut pada peralatan serta menjaga kestabilan sistem secara keseluruhan [4]. Namun, dalam praktiknya, sistem proteksi dapat mengalami gangguan yang tidak diinginkan, salah satunya adalah sympathetic tripping. Gangguan ini terjadi ketika proteksi pada penyulang yang tidak terganggu ikut bekerja akibat pengaruh arus gangguan dari penyulang lain, yang menyebabkan pemutusan suplai listrik secara tidak tepat atau palsu (*false tripping*) [5].

Kejadian sympathetic tripping yang terjadi pada sistem distribusi 20 kV antara PLTMH Batu Brak dan GI Liwa menjadi dasar dilakukannya penelitian ini. Dengan merancang dan mensimulasikan koordinasi proteksi yang tepat, diharapkan sistem interkoneksi ini dapat beroperasi secara lebih andal dan selektif, serta mampu memberikan pasokan listrik yang stabil dan berkualitas kepada pelanggan.

## 2. TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1 Jaringan Sistem Interkoneksi

Jaringan system interkoneksi ini menggabungkan beberapa pusat pembangkit listrik yang saling terhubung melalui saluran transmisi, komponen-komponen yang saling terhubung ini melayani semua beban yang terhubung ke gardu induk, yang selanjutnya terhubung ke sistem distribusi [6].



Gambar 1. Konfigurasi Jaringan Interkoneksi

### 2.2 Sympathetic Trip

*Sympathetic trip* adalah kondisi tidak diinginkan dalam sistem proteksi tenaga listrik, di mana rele pengaman (proteksi) pada feeder atau sistem yang tidak mengalami gangguan justru ikut bekerja (trip), akibat pengaruh arus gangguan atau perubahan tegangan yang timbul akibat gangguan pada feeder lain yang berdekatan [7].

### 2.3 Menghitung Arus Hubung Singkat

Untuk menghitung nilai arus hubung singkat kita dapat menggunakan persamaan berikut:

$$I_n = \frac{S}{\sqrt{3} \times V_{tr} \ l-l} \quad (1)$$

$$I_{sc} = \frac{100\%}{X'} \times I_n \quad (2)$$

Dimana:

Ifl = Arus beban penuh pada trafo

S = Daya Trafo

Vtr l-l = Tegangan rendah line to line

Isc = Arus hubung singkat

X' = Impedansi Trafo

### 2.4 Menghitung Impedansi Sumber

Perhitungan impedansi sumber (Xs) menggunakan persamaan dibawah ini [8]:

$$MVA_{sc} = \sqrt{3} \times V_{ph150\text{KV}} \times I_{sc} \quad (3)$$

$$X_s (20 \text{ KV}) = \frac{KV^2 \text{ sisi sekunder}}{MVAsc} \quad (4)$$

Dimana:

MVAsc = Nilai daya hubung singkat.  
 Vph 150 kv = Nilai tegangan trafo p150 KV  
 Isc = Arus hubung singkat pada trafo.  
 Xsc (20 KV) = Impedansi Trafo sumber 20 KV  
 KV<sup>2</sup> sisi sekunder = tegangan trafo sis sekunder.

### 2.5 Perhitungan Reaktansi Transformator

Reaktansi urutan positif, negative, dan nol pada transformator dapat dilakukan perhitungan menggunakan persamaan berikut [9]:

$$X_{t1} = X_{t2} = \text{impedansi trafo} \times \frac{V(\text{sisi sekunder})^2}{S} \quad (5)$$

Dimana:

Xt1 = Urutan Positif Transformator  
 Xt2 = Urutan Negatif Transformator  
 Vsisi sekunder = Tegangan sisi sekunder pada trafo  
 S = Daya pada trafo

Untuk dapat menghitung reaktansi urutan nol (Xt0), diperlukan data belitan delta [10]:

1. Pada trafo tenaga dengan konfigurasi belitan ΔY, apabila kapasitas belitan delta setara dengan kapasitas belitan Y maka:

$$X_{t0} = X_{t2} \quad (6)$$

2. Dalam sistem trafo Yyd, belitan delta biasanya memiliki kapasitas sepertiga dari belitan Y yang menyalurkan daya. Karena hanya satu terminal delta yang ditanahkan, maka reaktansi urutan nol adalah:

$$(X_{t0}) = 3 \times X_{t1} \quad (7)$$

3. Pada trafo tenaga dengan konfigurasi belitan YYn tanpa adanya belitan delta di dalamnya, nilai reaktansi urutan nol (Xt0) umumnya berada dalam rentang 9 hingga 14 kali lebih besar dibandingkan reaktansi urutan positif (Xt1).

$$(X_{t0}) = (9 \text{ s.d. } 14) \times X_{t1} \quad (8)$$

### 2.6 Perhitungan Impedansi Penyulang

Untuk melakukan perhitungan impedansi penyulang urutan positif, negative dan nol dapat menggunakan persamaan seperti berikut [11]:

1. Persamaan impedansi urutan positif dan negatif pada penyulang:

$$Z1, Z2 = \text{Panjang} \times Z1(\text{Peng} \text{ (9)} \\ \text{penyula hantar)} \\ \text{ng (km)}$$

Dimana:

Z1 = Impedansi urutan positif penyulang.  
 Z2 = Impedansi urutan negative penyulang.  
 Z1 (penghantar) = Impedansi urutan negative/positif dari jenis penghantar.

2. Persamaan impedansi urutan nol pada penyulang menggunakan persamaan berikut:

$$Z0 = \text{Panjang} \times Z0(\text{PENG} \text{ (10)} \\ \text{penyulang antar)} \\ \text{(km)}$$

### 2.7 Perhitungan Impedansi Ekuivalen

Mencari nilai impedansi ekuivalen urutan positif, negative dan nol pada setiap penyulang dapat menggunakan persamaan berikut [12]:

$$Z1eq = Z2eq = X_s + X_{t1} + Z1 (\text{penyulang}) \quad (11)$$

Dimana:

Z1eq = Impedansi ekuivalen Urutan positif  
 Z2eq = Impedansi ekuivalen Urutan negative.  
 Z1 (penyulang) = Impedansi urutan positif penyulang.

$$Z0eq = X_{t0} + (3 \times R_n) + Z0 (\text{penyulang}) \quad (12)$$

Dimana:

Z0eq = Impedansi ekuivalen Urutan nol.  
 Rn = Tahanan tanah trafo.  
 Z0 (penyulang) = Impedansi urutan nol penyulang.

### 2.8 Perhitungan Arus Hubung Singkat

Perhitungan arus hubung singkat ini dibedakan menjadi tiga yaitu arus hubung singkat 3 fasa, arus hubung singkat 2 fasa, dan arus hubung singkat 1 fasa. Berikut persamaan yang digunakan [13]:

1. Persamaan arus hubung singkat 3 fasa:

$$I_{sc \ 3 \ \Theta} = \frac{V_{ln}}{Z_{1eq}} \quad (13)$$

2. Persamaan arus hubung singkat 2 fasa:

$$I_{sc \ 2 \ \Theta} = V_{ln} / Z_{1eq} \quad (14)$$

3. Persamaan arus hubung singkat satu fasa ke tanah

$$I_{sc \ 1 \ \Theta - N} = \frac{3 \times V_{ln}}{(2 \times Z_{1eq}) + Z_{0eq}} \quad (15)$$

Dimana:

- Isc 1  $\ominus$  - N = arus hubung singkat 1 fasa
- Isc 2  $\ominus$  = arus hubung singkat 2 fasa
- Isc 3  $\ominus$  = arus hubung singkat 3 fasa
- Vln = Tegangan 20 Kv (Phase – Netral)
- Vph = Tegangan 20 KV (Phase-Phase)

## 2.9 Perhitungan Nilai Setting OCR dan GFR

Untuk mencari nilai OCR dapat menggunakan persamaan dibawah ini [14]:

1. Mencari arus primer :

$$I_{set\ primer} = 1,2 \times I_{load} \quad (16)$$

2. Mencari arus sekunder :

$$I_{set\ sekunder} = I_{set\ primer} \times \frac{1}{CT} \quad (17)$$

3. Mencari nilai time multiple setting (TMS) :

$$Tms = \frac{t \times \left( \frac{I_{fault}}{I_{set\ primer}} \right)^{0,02-1}}{0,14} \quad (18)$$

Jika mencari nilai OCR Instantonius maka dapat menggunakan persamaan:

$$I_{set\ primer} = 1,5 \times I_{load} \quad (19)$$

Untuk mencari nilai Iset sekunder dan Tms pada ocr instantonius dapat menggunakan persamaan 17 dan 18. Sedangkan untuk mencari nilai GFR dan GFR instantonius dapat menggunakan persamaan sebagai berikut:

I set Primer GFR =

$$20\% \times I_{sc\ 1\ \emptyset-N\ (100\%)} \quad (20)$$

I set Primer GFR Instantonius =

$$50\% \times I_{sc\ 1\ \emptyset-N\ (100\%)} \quad (21)$$

Untuk mencari nilai Iset sekunder dan Tms GFR dapat menggunakan persamaan 17 dan 18.

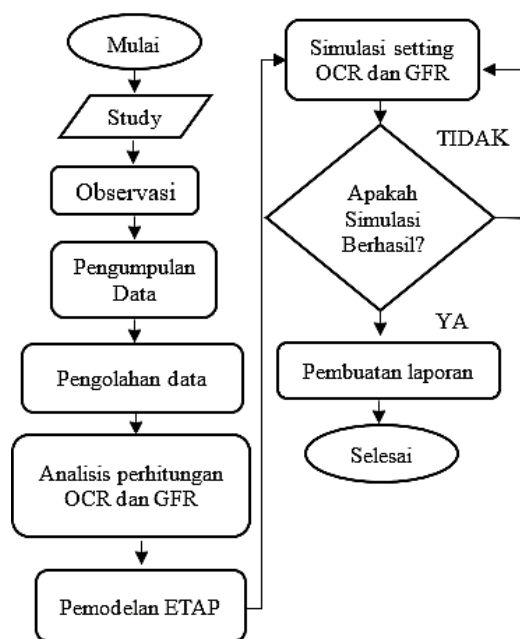
## 3. METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan metode studi kasus untuk menganalisis sistem proteksi jaringan listrik interkoneksi antara PLTMH Batu Brak dan GI Liwa PLN. Adapun diagram alur dari penelitian ini adalah:

## 4. HASIL DAN PEMBAHASAN

### 4.1. Data dan Spesifikasi Beban

Data dan spesifikasi beban pada penelitian ini adalah sebagai berikut:



Gambar. 2 Diagram alir metode penelitian

### 4.1.1 Single Line Diagram System Interkoneksi PLTMH Batu Brak dan GI Liwa 20 KV PLN

Sistem interkoneksi PLTMH Batu Brak dan GI Liwa 20 kV PLN memiliki panjang jaringan 14 km dan menyuplai tiga penyulang, yaitu Americano beban 8.088 MVA, Capucino beban 2,356 MVA, dan Latte beban 1,282 MVA.

### 4.1.2 Data Transformator

Pada system interkoneksi penelitian ini terdapat dua (2) transformator daya yang digunakan. Untuk spesifikasi trafo dapat dilihat pada tabel 1.

### 4.1.3 Data Relai OCR Dan GFR

Berikut data relay yang digunakan pada sistem interkoneksi PLTMH Batu Brak dan Trafo II GI Liwa PLN seperti pada table 2. Pada setiap penyulang menggunakan tiper relay yang sama yaitu SCHNEIDER / MICOM P142 dan untuk rasio CT pada penyulang PLTMH menggunakan 600/5 sedangkan pada penyulang lainnya menggunakan rasio CT 400/5

### 4.1.4 Data Penghantar Penyulang

Berdasarkan pengambilan data yang sudah dilakukan. Setiap penyulang menggunakan penghantar yang sama yaitu AAAC dengan diameter 240mm<sup>2</sup>. Dengan panjang penyulang PLTMH 14 km, penyulang trafo II GI Liwa 1,2 km, penyulang americano

111,83 km, penyulang capucino 17,9km dan penyulang latte 56,4 km.

Tabel 1 Data spesifikasi tranformator PLTMH Batu Brak dan GI Liwa

| Trafo                          | PLTMH Batu Brak             | GI Liwa PLN             |
|--------------------------------|-----------------------------|-------------------------|
| <i>Merk/Type</i>               | Chongqing Wangbian Electric | Unindo / TTUB 150/30000 |
| <i>Installation</i>            | Outdoor                     | Outdoor                 |
| <i>Year of Manufacture</i>     | 2021                        | 2013                    |
| <i>Rated Power</i>             | 5 MVA                       | 30 MVA                  |
| <i>Standard</i>                | IEC60076-3-2013             | IEC60076                |
| <i>Fequency Hertz</i>          | 50                          | 50                      |
| <i>Phases</i>                  | 3 Phase                     | 3 Phase                 |
| <i>Vector Group</i>            | Ynd5                        | YNyn0                   |
| <i>Primary voltage</i>         | 6,3 KV                      | 150 KV                  |
| <i>Secondary voltage</i>       | 20 KV                       | 20 KV                   |
| <i>Short circuit Primary</i>   | 458,2 A                     | 92,38 A                 |
| <i>Short circuit Secondary</i> | 144,3 A                     | 692,82 A                |
| <i>RN</i>                      | 1 ohm                       | 0,52 ohm                |
| <i>Impedance</i>               | 6,79%                       | 12,5%                   |

#### 4.2. Perhitungan Arus Hubung Singkat

Sebelum melakukan perhitungan arus hubung singkat maka ada beberapa langkah yang perlu dilakukan yaitu menghitung arus beban penuh (Ifl) dan arus hubung singkat (Isc) pada trafo, melakukan perhitungan impedansi sumber, melakukang perhitungan reaktansi transformator, melakukan perhitungan impedansi penyulang, melakukan perhitugnan impeansi ekivalen, dan melakukan perhitugan arus hubung singkat 3 fasa, 2 fasa dan 1 fasa

##### 4.2.1. Perhitungan Arus Beban Penuh (Ifl) dan Arus Hubung Singkat (Isc) Pada Trafo

Perhitungan arus hubung singkat pada trafo PLTMH Batu Brak dan trafo II GI Liwa dapat menggunakan persamaan 1 dan persamaan 2. Maka didapatkan hasil Ifl (trafo II GI Liwa) = 866,05 A, Isc (trafo II GI Liwa) = 6,93 KA, Ifl (trafo PLTMH) = 458,2 A, Isc (trafo PLTMH) = 6,68 KA

##### 4.2.2. Perhitungan Impedansi Sumber

Perhitungan impedansi sumber dapat dilakukan dengan menggunakan persamaan 3 dan 4. Didapatkan hasil nilai MVAsc Trafo II GI Liwa = 1.800,414, Nilai Zs trafo II GI Liwa = 0,22 ohm, Nilai MVAsc Trafo PLTMH Batu Brak = 72,89 MVAsc, Nilai Zs Trafo PLTMH Batu Brak = 17,45 ohm

##### 4.2.3. Perhitungan Reaktansi Transformator

Selanjutnya melakukan perhitungan reaktansi transformator  $X_{t1}$ ,  $X_{t2}$  menggunakan persamaan 5, dan  $X_{t0}$  dapat dilihat dari jenis vector dari transformator tersebut.

- Trafo II GI Liwa 20 KV PLN persamaan (5)  $X_{t1} = X_{t2} = 1,67$  ohm
- Trafo GI liwa. menggunakan persamaan (7)  $X_{t0} = 5,01$  Ohm
- Trafo PLTMH Batu menggunakan persamaan (5)  $X_{t1} = X_{t2} = 5,49$  Ohm
- Trafo PLTMH Batu Brak berdasarkan data mempunyai vector group YNd5  $X_{t0} = X_{t1} = 5,49$  Ohm persamaan (6).

##### 4.2.4. Perhitungan Impedansi Penghantar Penyulang

Pada setiap penyulang menggunakan jenis kabel yang sama yaitu penghantar dengan jenis AAAC 240 mm<sup>2</sup>. Nilai impedansi jenis kabel AAAC 240 mm<sup>2</sup> urutan positif dan negative adalah  $0.1344+0.3158j$ , impedansi urutan nol adalah  $0.2824+1.6034j$  [15]. Dengan menggunakan persamaan 9 dan persamaan 10 didapatkanlah hasil pada table 2 sampai dengan table 6.

Tabel 2. Impedansi urutan positif, negative, dan nol pada penyulang trafo II GI liwa

| Titik %                         | Jarak (KM) | Z <sub>1</sub> /Z <sub>2</sub> (ohm) | Z <sub>0</sub> (ohm) |
|---------------------------------|------------|--------------------------------------|----------------------|
| Dari sisi trafo II GI Liwa      |            |                                      |                      |
| 100                             | 1,2        | 0,16+j0,38                           | 0,34+j1,92           |
| 75                              | 0,9        | 0,12+j0,28                           | 0,25+j1,44           |
| 50                              | 0,6        | 0,008+j0,19                          | 0,17+j0,96           |
| 25                              | 0,15       | 0,02+j0,05                           | 0,04+j0,24           |
| 0                               | 0          | 0,00+J0,00                           | 0,00+J0,00           |
| Dari sisi trafo PLTMH Batu Brak |            |                                      |                      |
| 100                             | 14         | 1,88+j4,42                           | 3,95+j22,45          |
| 75                              | 14,3       | 1,92+j4,52                           | 4,04+j22,93          |
| 50                              | 14,6       | 1,96+j4,61                           | 4,12+j23,41          |
| 25                              | 14,9       | 2+j4,71                              | 4,21+j23,89          |
| 0                               | 15,2       | 2,04+j4,80                           | 4,29+j24,37          |

Tabel 3 Impedansi urutan positif, negative dan nol pada penyulang PLTMH Batu Brak

| Titik %                         | Jarak (KM) | Z <sub>1</sub> /Z <sub>2</sub> (ohm) | Z <sub>0</sub> (ohm) |
|---------------------------------|------------|--------------------------------------|----------------------|
| Dari sisi trafo II GI Liwa      |            |                                      |                      |
| 100                             | 15,2       | 2,04+j4,80                           | 4,29+j24,37          |
| 75                              | 11,7       | 1,57+j3,69                           | 3,30+j18,76          |
| 50                              | 8,2        | 1,10+j2,59                           | 2,32+j13,15          |
| 25                              | 4,7        | 0,63+j1,48                           | 1,33+j7,54           |
| 0                               | 1,2        | 0,16+j0,38                           | 0,34+j1,92           |
| Dari sisi trafo PLTMH Batu Brak |            |                                      |                      |
| 100                             | 14         | 1,88+j4,42                           | 3,95+j22,45          |
| 75                              | 10,5       | 1,41+j3,32                           | 2,97+j16,83          |
| 50                              | 7          | 0,94+j2,21                           | 1,98+j11,22          |
| 25                              | 3,5        | 0,47+j1,11                           | 0,99+j5,61           |
| 0                               | 0          | 0,00+j0,00                           | 0,00+j0,00           |

Tabel 4 Impedansi urutan positif, negative dan nol pada penyulang americano

| Titik %                        | Jarak (KM) | Z <sub>1</sub> /Z <sub>2</sub> (ohm) | Z <sub>0</sub> (ohm) |
|--------------------------------|------------|--------------------------------------|----------------------|
| Dari sisi trafo II GI Liwa     |            |                                      |                      |
| 100                            | 113,03     | 15,19+j35,69                         | 31,92+j181,22        |
| 75                             | 85,07      | 11,43+j26,87                         | 24,02+j136,40        |
| 50                             | 57,12      | 7,68+j18,04                          | 16,13+j91,57         |
| 25                             | 29,16      | 3,92+j9,21                           | 8,23+j46,75          |
| 0                              | 1,20       | 0,16+j0,38                           | 0,34+j1,92           |
| Dri sisi trafo PLTMH Batu Brak |            |                                      |                      |
| 100                            | 125,83     | 16,91+j39,74                         | 35,53+j201,74        |
| 75                             | 108,37     | 14,57+j34,22                         | 30,60+j173,75        |
| 50                             | 76,92      | 10,34+j24,29                         | 21,72+j123,32        |
| 25                             | 45,46      | 6,11+j14,36                          | 12,48+j72,88         |
| 0                              | 14,00      | 1,88+j4,42                           | 3,95+j22,45          |

Tabel 5 Impedansi urutan positif, negative dan nol pada penyulang capucino

| Titik                           | Jarak (KM) | Z <sub>1</sub> /Z <sub>2</sub> (ohm) | Z <sub>0</sub> (ohm) |
|---------------------------------|------------|--------------------------------------|----------------------|
| Dari sisi trafo II GI Liwa      |            |                                      |                      |
| 100%                            | 19,10      | 2,57+j6,03                           | 5,39+j30,62          |
| 75%                             | 14,63      | 1,97+j4,62                           | 4,13+j23,45          |
| 50%                             | 10,15      | 1,36+j3,21                           | 2,87+j16,27          |
| 25%                             | 5,68       | 0,76+j1,79                           | 1,60+j9,10           |
| 0%                              | 1,20       | 0,16+j0,38                           | 0,34+j1,92           |
| Dari sisi trafo PLTMH Batu Brak |            |                                      |                      |
| 100%                            | 31,90      | 4,29+j10,07                          | 9,01+j51,15          |
| 75%                             | 27,43      | 3,69+j8,66                           | 7,74+j43,97          |
| 50%                             | 22,95      | 3,08+j7,25                           | 6,48+j36,80          |
| 25%                             | 18,48      | 2,48+j5,83                           | 5,22+j29,62          |
| 0%                              | 14,00      | 1,88+j4,42                           | 3,95+j22,45          |

#### 4.2.5. Perhitungan Impedansi Ekuivalen Pada Setiap Penyulang

Perhitungan impedansi ekuivalen pada setiap penyulang dapat menggunakan

persamaan 11 dan 12. Sehingga didapatlah hasil seperti pada tabel 7 s.d. tabel 11.

Tabel 6 Impedansi urutan positif, negative dan nol pada penyulang latte

| Titik                           | Jarak (KM) | Z <sub>1</sub> /Z <sub>2</sub> (ohm) | Z <sub>0</sub> (ohm) |
|---------------------------------|------------|--------------------------------------|----------------------|
| Dari sisi trafo II GI Liwa      |            |                                      |                      |
| 100%                            | 57,60      | 7,74+j18,19                          | 16,27+j92,35         |
| 75%                             | 43,50      | 5,85+j13,74                          | 12,28+j69,74         |
| 50%                             | 29,40      | 3,95+j9,28                           | 8,30+j47,14          |
| 25%                             | 15,30      | 2,06+j4,83                           | 4,32+j24,53          |
| 0%                              | 1,20       | 0,16+j0,38                           | 0,34+j1,92           |
| Dari sisi trafo PLTMH Batu Brak |            |                                      |                      |
| 100%                            | 57,60      | 9,46+j22,23                          | 19,88+j112,87        |
| 75%                             | 43,50      | 7,57+j17,78                          | 15,90+j90,27         |
| 50%                             | 29,40      | 5,67+j13,33                          | 11,92+j67,66         |
| 25%                             | 15,30      | 3,78+j8,87                           | 7,94+j45,05          |
| 0%                              | 1,20       | 1,88+j4,42                           | 3,95+j22,45          |

Tabel 7 Impedansi ekuivalen urutan positif, negative dan nol pada penyulang Trafo II GI Liwa

| Titik                           | Jarak (KM) | Z <sub>1</sub> /Z <sub>2</sub> Eq (ohm) | Z <sub>0</sub> Eq (ohm) |
|---------------------------------|------------|---|-------------------------|
| Dari sisi trafo II GI Liwa      |            |   |                         |
| 100%                            | 1,2        | 0,16+j2,27                              | 1,90+j6,93              |
| 75%                             | 0,9        | 0,12+j2,18                              | 1,81+j6,45              |
| 50%                             | 0,6        | 0,08+j2,08                              | 1,73+j5,97              |
| 25%                             | 0,15       | 0,04+j1,99                              | 1,64+j5,49              |
| 0%                              | 0          | j1,89                                   | 1,56+j5,01              |
| Dari sisi trafo PLTMH Batu Brak |            |   |                         |
| 100%                            | 15,2       | 2,04+j15,78                             | 7,29+j29,86             |
| 75%                             | 14,9       | 2+j15,68                                | 7,21+j29,38             |
| 50%                             | 14,6       | 1,96+j15,59                             | 7,12+j28,90             |
| 25%                             | 14,3       | 4,52+j15,49                             | 7,04+j28,42             |
| 0%                              | 14         | 1,88+j15,40                             | 6,95+j27,93             |

Tabel 8 Impedansi ekuivalen urutan positif, negatif dan nol pada penyulang Trafo PLTMH Batu Brak

| Titik                           | Jarak (KM) | Z <sub>1</sub> /Z <sub>2</sub> Eq (ohm) | Z <sub>0</sub> Eq (ohm) |
|---------------------------------|------------|---|-------------------------|
| Dari sisi trafo II GI Liwa      |            |   |                         |
| 100%                            | 15,2       | 2,04+j6,69                              | 4,29+j30,94             |
| 75%                             | 11,7       | 1,57+j5,59                              | 3,30+j25,33             |
| 50%                             | 8,2        | 1,10+j4,48                              | 2,32+j19,72             |
| 25%                             | 4,7        | 0,63+j3,38                              | 1,33+j14,11             |
| 0%                              | 1,2        | 0,16+j2,27                              | 0,34+j8,49              |
| Dari sisi trafo PLTMH Batu Brak |            |   |                         |
| 100%                            | 14         | 1,88+j15,40                             | 6,95+j27,93             |
| 75%                             | 10,5       | 1,41+j14,30                             | 5,97+j22,32             |
| 50%                             | 7          | 0,94+j13,19                             | 4,98+j16,71             |
| 25%                             | 3,5        | 0,47+j12,08                             | 3,99+j11,10             |
| 0%                              | 0          | j10,98                                  | 3+j5,49                 |

Tabel 9 Impedansi ekivalen urutan positif, negatif, dan nol pada penyulang americano

| Titik                           | Jarak (KM) | Z <sub>1</sub> /Z <sub>2</sub> Eq (ohm) | Z <sub>0</sub> Eq (ohm) |
|---------------------------------|------------|---|-------------------------|
| Dari sisi trafo II GI Liwa      |            |   |                         |
| 100%                            | 113,03     | 15,19+j37,58                            | 33,48+j186,23           |
| 75%                             | 85,07      | 11,43+j28,75                            | 25,58+141,41            |
| 50%                             | 57,12      | 7,68+j19,93                             | 17,69+96,58             |
| 25%                             | 29,16      | 3,92+11,10                              | 9,79+51,76              |
| 0%                              | 1,20       | 0,16+2,27                               | 1,90+6,93               |
| Dari sisi trafo PLTMH Batu Brak |            |   |                         |
| 100%                            | 125,83     | 16,91+50,71                             | 38,53+j207,23           |
| 75%                             | 108,37     | 14,57+45,20                             | 33,60+179,24            |
| 50%                             | 76,92      | 10,34+j35,27                            | 24,72+j128,81           |
| 25%                             | 45,46      | 6,11+25,33                              | 15,84+j78,37            |
| 0%                              | 14,00      | 1,88+j15,40                             | 6,95+27,93              |

Tabel 10 Impedansi ekivalen urutan positif, negatif dan nol pada penyulang capucino

| Titik %                         | Jarak (KM) | Z <sub>1</sub> /Z <sub>2</sub> Eq (ohm) | Z <sub>0</sub> Eq (ohm) |
|---------------------------------|------------|---|-------------------------|
| Dari sisi trafo II GI Liwa      |            |   |                         |
| 100                             | 19,10      | 2,57+j7,92                              | 6,95+j35,63             |
| 75                              | 14,63      | 1,97+j6,51                              | 5,69+28,46              |
| 50                              | 10,15      | 1,36+j5,09                              | 4,43+j21,28             |
| 25                              | 5,68       | 0,76+3,68                               | 3,16+14,11              |
| 0                               | 1,20       | 0,16+j2,27                              | 1,90+6,93               |
| Dari sisi trafo PLTMH Batu Brak |            |   |                         |
| 100                             | 31,90      | 4,29+j21,05                             | 12,01+j56,63            |
| 75                              | 27,43      | 3,69+j19,64                             | 10,74+j49,46            |
| 50                              | 22,95      | 3,08+18,22                              | 9,48+j42,28             |
| 25                              | 18,48      | 2,48+j16,81                             | 8,22+j35,11             |
| 0                               | 14,00      | 1,88+j15,40                             | 6,95+j27,93             |

Tabel 11 Impedansi ekivalen urutan positif, negatif dan nol pada penyulang latte

| Titik %                         | Jarak (KM) | Z <sub>1</sub> /Z <sub>2</sub> Eq (ohm) | Z <sub>0</sub> Eq (ohm) |
|---------------------------------|------------|---|-------------------------|
| Dari sisi trafo II GI Liwa      |            |   |                         |
| 100                             | 57,60      | 7,74+j20,08                             | 17,83+97,36             |
| 75                              | 43,50      | 5,85+j15,63                             | 13,84+j74,75            |
| 50                              | 29,40      | 3,95+11,17                              | 9,86+j52,15             |
| 25                              | 15,30      | 2,06+6,72                               | 5,88+j29,54             |
| 0                               | 1,20       | 0,16+j2,27                              | 1,90+j6,93              |
| Dari sisi trafo PLTMH Batu Brak |            |   |                         |
| 100                             | 70,40      | 9,46+j33,21                             | 22,88+j118,36           |
| 75                              | 56,30      | 7,57+j28,76                             | 18,90+j95,75            |
| 50                              | 42,20      | 5,67+j24,30                             | 14,92+j73,15            |
| 25                              | 28,10      | 3,78+j19,85                             | 10,94+j50,54            |
| 0                               | 14,00      | 1,88+j15,40                             | 6,95+27,93              |

#### 4.2.6. Perhitungan Arus Hubung Singkat

Perhitungan arus hubung singkat 1 fasa, 2 fasa, dan 3 fasa dengan menggunakan persamaan 13, 14, dan 15 sehingga didapatkan hasil seperti pada tabel 12 s.d. tabel 16.

Tabel 12 Arus hubung singkat 1 fasa, 2 fasa, dan 3 fasa pada penyulang trafo II GI Liwa

| Titik % | Jarak (km) | I <sub>sc</sub> 3 Ø (A) | I <sub>sc</sub> 2 Ø (A) | I <sub>sc</sub> 1 Ø - N (A) |
|---------|------------|-------------------------|-------------------------|-----------------------------|
| 0       | 0          | 6828,39                 | 5895,91                 | 4610,42                     |
| 25      | 0,15       | 6540,77                 | 5646,6                  | 4354,13                     |
| 50      | 0,6        | 6277,92                 | 5418,74                 | 4136,16                     |
| 75      | 0,9        | 6037,09                 | 5209,95                 | 3949,68                     |
| 100     | 1,2        | 5815,89                 | 5018,15                 | 3789,48                     |

Tabel 13 Arus hubung singkat 1 fasa, 2 fasa, dan 3 fasa pada penyulang PLTMH Batu Brak

| Titik % | Jarak (km) | I <sub>sc</sub> 3 Ø (A) | I <sub>sc</sub> 2 Ø (A) | I <sub>sc</sub> 1 Ø - N (A) |
|---------|------------|-------------------------|-------------------------|-----------------------------|
| 0       | 0          | 2702,28                 | 2340,25                 | 1468                        |
| 25      | 1,75       | 2944,52                 | 2550,04                 | 1514,65                     |
| 50      | 7          | 3375,38                 | 2923,36                 | 1687,94                     |
| 75      | 10,5       | 4165,6                  | 3607,52                 | 2079,33                     |
| 100     | 14         | 5815,89                 | 5036,71                 | 3035,86                     |

Tabel 14 Arus hubung singkat 1 fasa, 2 fasa, dan 3 fasa pada penyulang Americano

| Titik % | Jarak (km) | I <sub>sc</sub> 3 Ø (A) | I <sub>sc</sub> 2 Ø (A) | I <sub>sc</sub> 1 Ø - N (A) |
|---------|------------|-------------------------|-------------------------|-----------------------------|
| 0       | 0          | 5823,31                 | 5043,14                 | 3545,42                     |
| 25      | 13,979     | 1424,32                 | 1233,5                  | 717,99                      |
| 50      | 55,92      | 854,97                  | 740,43                  | 416,21                      |
| 75      | 83,873     | 616,3                   | 533,74                  | 294,33                      |
| 100     | 111,83     | 500,85                  | 433,75                  | 238                         |

Tabel 15 Arus hubung singkat 1 fasa, 2 fasa, dan 3 fasa pada penyulang Capucino

| Titik % | Jarak (km) | I <sub>sc</sub> 3 Ø (A) | I <sub>sc</sub> 2 Ø (A) | I <sub>sc</sub> 1 Ø - N (A) |
|---------|------------|-------------------------|-------------------------|-----------------------------|
| 0%      | 0          | 5823,31                 | 5043,14                 | 3545,42                     |
| 25%     | 4,48       | 3751,2                  | 3248,64                 | 2071,27                     |
| 50%     | 8,95       | 2814,3                  | 2437,25                 | 1504,86                     |
| 75%     | 13,43      | 2276,58                 | 1971,58                 | 1196,17                     |
| 100%    | 17,9       | 1924,31                 | 1666,53                 | 998,63                      |

Tabel 16 Arus hubung singkat 1 fasa, 2 fasa, dan 3 fasa pada penyulang latte

| Titik % | Jarak (km) | I <sub>sc</sub> 3 Ø (A) | I <sub>sc</sub> 2 Ø (A) | I <sub>sc</sub> 1 Ø - N (A) |
|---------|------------|-------------------------|-------------------------|-----------------------------|
| 0%      | 0          | 5823,31                 | 5043,14                 | 3545,42                     |
| 25%     | 14,1       | 2214,44                 | 1917,76                 | 1161,07                     |
| 50%     | 28,2       | 1437,01                 | 1244,49                 | 730,46                      |
| 75%     | 42,3       | 2080,44                 | 935,69                  | 538,34                      |
| 100%    | 56,4       | 870,99                  | 754,3                   | 427,68                      |

Berdasarkan pada tabel 12 sampai tabel 16 dapat disimpulkan arus gangguan akan berbanding terbalik dengan jarak gangguan.

Dimana semakin semakin jauh jarak gangguan maka akan semakin kecil arus gangguan.

#### 4.2.7. Perhitungan Nilai Setting OCR dan GFR

Pengambilan data relay pada masing-masing penyulang untuk waktu kerja relay (t) pada OCR setiap penyulang adalah 0,3s dan OCR instantonius adalah 0,1s dengan karakteristik kurva standar inverse. Perhitungan menggunakan persamaan 17 sampai 20 maka didapatkan hasil pada table berikut :

Tabel 17 Hasil Perhitungan Setting OCR pada penyulang

| Penyulang            | Iset Prim | Iset Sec | tms  |
|----------------------|-----------|----------|------|
| Trafo II GI Liwa     | 294 A     | 3,68 A   | 0,14 |
| Trafo PLTM Batu Brak | 192 A     | 1,60 A   | 0,12 |
| Americano            | 162 A     | 2,03 A   | 0,16 |
| Capucino             | 84 A      | 1,05 A   | 0,19 |
| Latte                | 48 A      | 0,6 A    | 0,22 |

Tabel 18 Hasil Perhitungan Setting OCR Instantonius pada penyulang

| Penyulang        | Iset Primer | Iset Sekunder | tms  |
|------------------|-------------|---------------|------|
| Trafo II GI Liwa | 368 A       | 4,59 A        | 0,04 |
| Trafo PLTM       | 240 A       | 2 A           | 0,04 |
| Americano        | 203 A       | 2,53 A        | 0,05 |
| Capucino         | 105 A       | 1,31 A        | 0,06 |
| Latte            | 60 A        | 0,75 A        | 0,07 |

Tabel 19 Hasil Perhitungan Setting GFR pada penyulang

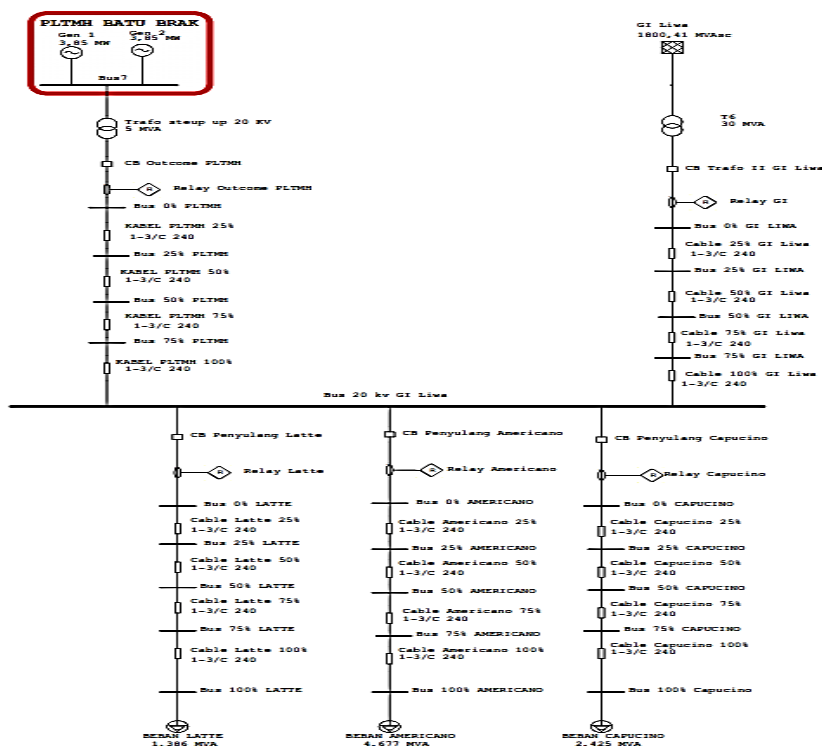
| Penyulang        | Iset Primer | Iset Sekunder | tms  |
|------------------|-------------|---------------|------|
| Trafo II GI Liwa | 378,95 A    | 4,74 A        | 0,11 |
| Trafo PLTMH      | 303,59 A    | 2,53 A        | 0,07 |
| Americano        | 23,8 A      | 0,3 A         | 0,23 |
| Capucino         | 99,86 A     | 1,25 A        | 0,16 |
| Latte            | 42,77 A     | 0,53 A        | 0,20 |

Tabel 20 Hasil Perhitungan Setting GFR Instantonius pada penyulang

| Penyulang        | Iset Prim | Iset Sek | tms   |
|------------------|-----------|----------|-------|
| Trafo II GI Liwa | 757,90A   | 9,47A    | 0,03  |
| Trafo PLTMH      | 607,17A   | 5,06A    | 0,013 |
| Americano        | 47,60A    | 0,6A     | 0,06  |
| Capucino         | 199,73A   | 2,50A    | 0,042 |
| Latte            | 85,54A    | 1,07A    | 0,06  |

#### 4.3. Simulasi Sympathetic Tripping Menggunakan ETAP 12.6.0

Untuk mengetahui potensi terjadinya sympathetic trip pada jalur trafo II GI Liwa sistem 20 KV PLN maka perlu dilakukan simulasi pada ETAP dengan melihat kurva trip relay OCR dan GFR pada setiap penyulang. Langkah pertama dengan membuat single line diagram pada ETAP yang dapat dilihat pada gambar 3 dibawah ini.



Gambar. 3 Single line diagram sistem interkoneksi Trafo II GI Liwa dan PLTMH Batu Brak

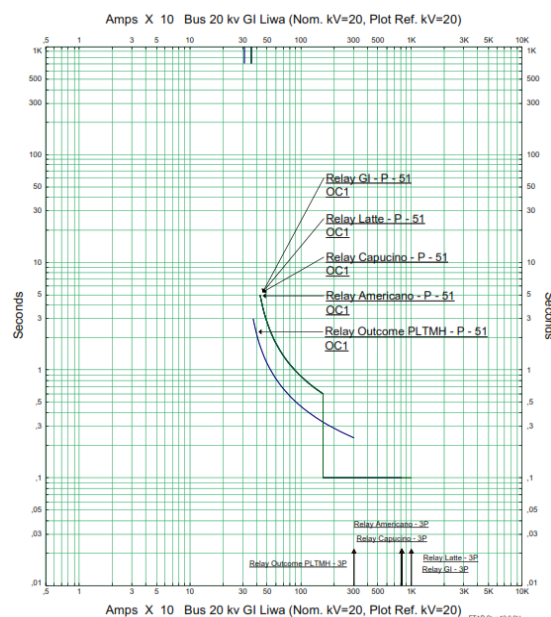
Untuk simulasi ini dilakukan dengan dua kondisi yaitu:

1. Kondisi menggunakan setting OCR dan GFR dari setting *default*
2. Kondisi menggunakan setting OCR dan GFR dari perhitungan.

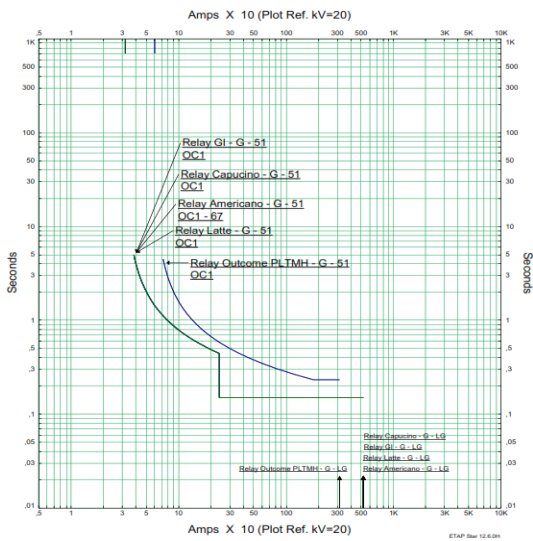
| Penyulang | OCR                    |                        | GFR                   |                        |
|-----------|------------------------|------------------------|-----------------------|------------------------|
|           | Overcurrent            | Instant onius          | Overcurrent           | Instant onius          |
| Capucino  | Iset=360 A<br>Tms=0,13 | Iset=1600 A<br>Tms=0,1 | Iset=32 A<br>Tms=0,13 | Iset=240 A<br>Tms=0,15 |

Tabel 21 Setting OCR dan GFR pada masing-masing penyulang sebelum perhitungan

| Penyulang        | OCR                     |                        | GFR                    |                        |
|------------------|-------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|
|                  | Overcurrent             | Instant onius          | Overcurrent            | Instant onius          |
| Trafo II GI Liwa | Iset=360 A<br>Tms=0,13  | Iset=1600 A<br>Tms=0,1 | Iset=32 A<br>Tms=0,13  | Iset=240 A<br>Tms=0,15 |
| Trafo PLTMH      | Iset=312 A<br>Tms=0,078 |                        | Iset=60 A<br>Tms=0,117 |                        |
| Latte            | Iset=360 A<br>Tms=0,13  | Iset=1600 A<br>Tms=0,1 | Iset=32 A<br>Tms=0,13  | Iset=240 A<br>Tms=0,15 |
| Americano        | Iset=360 A<br>Tms=0,13  | Iset=1600 A<br>Tms=0,1 | Iset=32 A<br>Tms=0,13  | Iset=240 A<br>Tms=0,15 |



Gambar. 4 Kurva trip OCR *setting default*



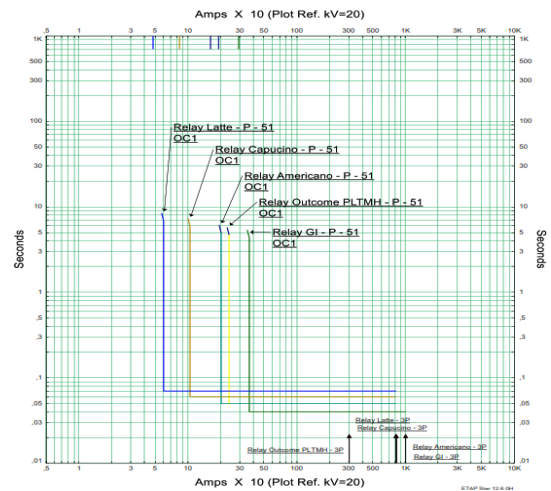
Gambar. 5 Kurva trip GFR *setting deafult*

Dapat dilihat pada gambar 4 dan gambar 5 kurva trip OCR dan GFR pada penyulang trafo II GI Liwa, Trafo PLTMH Batu Brak, Americano, capucino dan latte berada pada satu garis kurva arus hubung singkat dan waktu pemutusan yang sama. Kondisi kurva yang saling berhimpitan seperti pada gambar 4 dan gambar 5 ini akan mengakibatkan potensi adanya simpatic trip pada penyulang. Karena system proteksi pada masing-masing penyulang mempunyai potensi untuk bekerja secara bersamaan ketika terjadi gangguan.

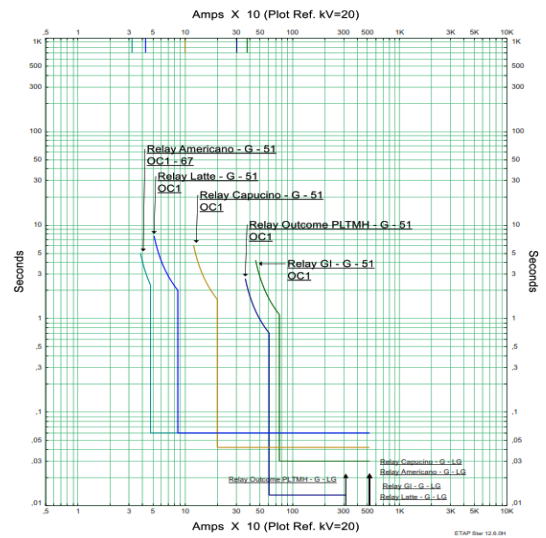
Tabel 22 Setting OCR dan GFR pada masing-masing penyulang setelah perhitungan

| Penyulang              | OCR                                      |   | GFR  |   |
|------------------------|--|---|--|---|
|                        | Overcurrent                              | Instantaneous                           | Overcurrent                                | Instantaneous                               |
| Trafo II GI Liwa 20 Kv | Iset = 294A<br>Tms = 0,14<br>Curva = SI  | Iset = 368 A<br>Tms = 0,04<br>Curva = - | Iset = 378,95A<br>Tms = 0,11<br>Curva = SI | Iset = 757,90 A<br>Tms = 0,03<br>Curva = -  |
| Trafo PLTMH Batu Brak  | Iset = 192 A<br>Tms = 0,12<br>Curva = SI | Iset = 240 A<br>Tms = 0,04<br>Curva = - | Iset = 303,59A<br>Tms = 0,07<br>Curva = S  | Iset = 607,17 A<br>Tms = 0,013<br>Curva = - |
| Latte                  | Iset = 48 A<br>Tms = 0,22<br>Curva = SI  | Iset = 60 A<br>Tms = 0,07<br>Curva = -  | Iset = 42,77 A<br>Tms = 0,20<br>Curva = S  | Iset = 85,54A<br>Tms = 0,06<br>Curva = -    |
| Ameri cano             | Iset = 162 A                             | Iset = 203 A                            | Iset = 23,80 A                             | Iset = 47,60 A                              |

| Penyulang | OCR                                     |   | GFR                                       |  |
|-----------|---|---|---|--|
|           | Overcurrent                             | Instantaneous                           | Overcurrent                               | Instantaneous                              |
|           | Tms = 0,16<br>Curva = SI                | Tms = 0,05<br>Curva = -                 | Tms = 0,23<br>Curva = S                   | Tms = 0,03<br>Curva = -                    |
| Capucino  | Iset = 84 A<br>Tms = 0,19<br>Curva = SI | Iset = 105 A<br>Tms = 0,06<br>Curva = - | Iset = 99,86 A<br>Tms = 0,16<br>Curva = S | Iset = 199,73A<br>Tms = 0,042<br>Curva = - |



Gambar. 6 Kurva X trip OCR perhitungan



Gambar. 7 Kurva trip GFR perhitungan

Dapat dilihat setelah dilakukan perhitungan ulang OCR dan GFR pada masing-masing penyulang, maka kurva trip OCR dan GFR tidak berhimpitan lagi seperti ditunjukkan pada gambar 6 dan gambar 7, sehingga tidak ada system proteksi pada masing-masing penyulang yang bekerja secara bersamaan, yang

menandakan bahwa tidak adanya indikasi gangguan sympathetic trip pada masing-masing penyulang. sehingga nilai setting OCR dan GFR pada masing-masing penyulang sudah benar.

## 5. KESIMPULAN

Adapun kesimpulan dai penelitian ini yaitu:

- a. Penyebab terjadinya sympathetic trip dikarenakan setting OCR dan GFR system interkoneksi trafo II GI Liwa dan PLTMH Batu Brak masih kurang tepat. Sehingga kurva trip saling berhimpitan seperti pada gambar 2 dan gambar 3 yang dapat berpotensi adanya sympathetic trip.
- b. Setelah dilakukan perhitungan ulang nilai OCR dan GFR maka didapatkan hasil seperti pada gambar 6 dan gambar 7. Yang dimana pada masing-masing penyulang sudah kurva trip tidak saling berhimpitan.
- c. Jika adanya penambahan beban maupun integrasi sumber tenaga listrik baru pada sistem, maka pengaturan sistem proteksi perlu ditinjau dan disesuaikan kembali agar tetap menjamin keandalan dan selektivitas proteksi.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] R. J. Sianipar, R. R. Januar, dan S. D. C. Silalahi, "Analisis Pemetaan Potensi dan Realisasi Energi Baru Terbarukan (EBT) dengan Pemodelan Determinan Konsumsi dan Metode Grouping Analysis EBT di Indonesia," *J. Energi Baru dan Terbarukan*, vol. 5, no. 2, hal. 30–49, 2024, doi: 10.14710/jebt.2024.22970.
- [2] R. Syahputra dan I. Soesanti, "Renewable energy systems based on micro-hydro and solar photovoltaic for rural areas: A case study in Yogyakarta, Indonesia," *Energy Reports*, vol. 7, hal. 472–490, 2021, doi: 10.1016/j.egyr.2021.01.015.
- [3] Imdadullah, B. Alamri, M. A. Hossain, dan M. S. Jamil Asghar, "Electric power network interconnection: A review on current status, future prospects and research direction," *Electron.*, vol. 10, no. 17, hal. 1–29, 2021, doi: 10.3390/electronics10172179.
- [4] G. Risky Iriando dan A. Imam Agung, "Studi Koordinasi Sistem Proteksi Pada Transformator 20Kv Di Jaringan Distribusi 20Kv Penyulang Bandilan," *J. Tek. Elektro*, vol. 8, no. 3, hal. 611–618, 2019, doi:

- 10.26740/jte.v8n3.p%25p.
- [5] H. Sabra, D. K. Ibrahim, dan M. Gilany, "Field experience with sympathetic tripping in distribution networks: problems and solutions," *J.Eng.*, vol. 2018, no. 15, hal. 1181–1185, 2018, doi: 10.1049/joe.2018.0146
- [6] J. Tupalessy, R. N. Hasanah, dan H. Suyono, "Perencanaan Sistem Interkoneksi Jaringan Listrik Kabel Bawah Laut di Propinsi Maluku," *J. EECIS*, vol. 9, no. 1, hal. 43–48, 2015, doi: 10.21776/jeeccis.v9i1.273.
- [7] T. D. Firouzabadi, D. A. Zarchi, M. Mazid, H. Safdarkhani, dan H. Nafisi, "Overarching Preventive Sympathetic Tripping Approach in Active Distribution Networks Without Telecommunication Platforms and Additional Protective Devices," *IEEE Access*, vol. 10, hal. 28411–28421, 2022, doi: 10.1109/ACCESS.2022.3153351.
- [8] J. Son, Yenni Afrida, dan Sri Suryani, "Analisis Setting Over Current Relay Satu Fasa Ke Tanah Sistem 20 Kv Pada Recloser B 21 Penyulang Salju Gardu Induk Teluk Betung Berbasis Etap," *Electr. J. Rekayasa dan Teknol. Elektro*, vol. 18, no. 2, hal. 202–211, 2024, doi: 10.23960/elc.v18n2.2683.
- [9] H. Prasetijo, A. Fadli, dan F. Renaldi, "Improved Over Current Relay (OCR) Coordination Using Time Multiple Setting (TMS)," *MATEC Web Conf.*, vol. 402, hal. 02001, 2024, doi: 10.1051/mateconf/202440202001.
- [10] M. N. Erliwati, Syafii, "Koordinasi Sistem Proteksi Arus Lebih Pada Penyulang Distribusi 20 kV GI Pauh Limo," *J. Nas. Tek. Elektro*, vol. 4, no. 2, hal. 140, 2015, doi: 10.25077/jnte.v4n2.144.2015.
- [11] A. F. Akwan, Y. Lefaan, J. Kariongan, Suparno, dan T. K. M. Uniplaita, "Koordinasi Kerja Relai Arus Lebih (OCR) Dan Relai Gangguan Tanah (GFR) Saat Terjadi Hubung Singkat," *J. Teletronik*, vol. 1, no. 3, hal. 29–36, 2024.
- [12] S. Samsurizal, K. N. Ulina, A. Makkulau, dan N. Pasra, "Studi Sistem Pentanahan Pada Transformator Daya 60 MVA di GIS 150 KV," *J. Electr. Eng. Inf. Technol.*, vol. 19, no. 1, hal. 24–32, 2021.
- [13] I. Lewi, B. S. Nugroho, K. M. Banjarnahor, dan N. Hariyanto, "Adaptable Ground Fault Relay Protection for Neutral Grounding Resistor in Transformers and Generator: A Study in Indonesian Context," *Int. J. Electr. Eng. Informatics*, vol. 16, no. 3, hal. 496–518, 2024, doi: 10.15676/ijeei.2024.16.3.10.
- [14] T. A. A. Almuhsen dan A. J. Sultan, "Coordination of directional overcurrent and distance relays based on nonlinear multivariable optimization," *Indones. J.*

- Electr. Eng. Comput. Sci.*, vol. 17, no. 3, hal. 1194–1205, 2019, doi: 10.11591/ijeecs.v17.i3.pp1194-1205.
- [15] H. Yamashika dan M. Kamil, “Rancang Bangun Scaled-Down Model Sistem Distribusi Tenaga Listrik,” *Rank Tek. J.*, vol. 5, no. 1, hal. 1–4, 2022, doi: 10.31869/rtj.v5i1.3069.