

# Analisa *Over Current Relay (OCR)* dan *Ground Fault Relay (GFR)* pada Jaringan Distribusi 20 kV

Engla Harda Arya\*, Ermawati, Machdalena, Jhon Hendri  
 Sekolah Tinggi Teknologi Pekanbaru  
 Jalan Dirgantara No.4 Arengka Raya, Pekanbaru, Riau 28125  
 E-mail: [englahardaarya@gmail.com](mailto:englahardaarya@gmail.com)\*

## Abstract

*In operation of the electric power system, disturbances often occur which can result in disruption of the distribution of electric power to consumers. The disturbances that often occur in the 20 kV medium voltage network distribution system are short circuit faults and overload faults. Protections used to prevent the disturbance from spreading and not disturbing healthy areas is the over current relay and ground fault relay. Based on the results of the research, showed that the relay coordination settings were OCR Incoming Primary Iset = 1818.65 A, Secondary Iset = 0.909 A, TMS = 0.199. In the OCR of the Primary Iset Feeder = 504 A, Secondary Iset = 1.26 A, TMS = 0.199, GFR Incoming Primary Iset = 144.19 A, Secondary Iset = 0.072 A, TMS = 0.238 and GFR of the Primary Iset Feeder = 140.19 A, Secondary Iset = 0.35 A, TMS = 0.23*

**Keywords:** *Distribution 20 kV, Short circuit, over load, OCR and GFR*

## Abstrak

*Dalam operasi sistem tenaga listrik sering terjadi gangguan yang dapat mengakibatkan terganggunya penyaluran tenaga listrik ke konsumen. Gangguan yang sering terjadi dalam sistem distribusi jaringan tegangan menengah 20 kV adalah gangguan hubung singkat dan gangguan beban lebih (over load). Salah satu proteksi yang digunakan untuk menjaga agar gangguan tersebut tidak meluas dan tidak mengganggu daerah yang sehat adalah over current relay (OCR) dan ground fault relay (GFR). Berdasarkan hasil penelitian yang dilakukan maka hasil perhitungan didapatkan hasil setting koordinasi relai yaitu OCR Incoming Iset Primer = 1818,65 A, Iset Sekunder = 0,909 A, TMS = 0,199. Pada OCR Penyulang Iset Primer = 504 A, Iset Sekunder = 1,26 A, TMS = 0,199 sedangkan untuk GFR Incoming Iset Primer = 144,19 A, Iset Sekunder = 0,072 A, TMS = 0,238 dan GFR Penyulang Iset Primer = 140,19 A, Iset Sekunder = 0,35 A, TMS = 0,23*

**Kata Kunci:** *Distribusi 20 kV, Hubung singkat, over load, ocr dan gfr*

## 1. Pendahuluan

Energi listrik merupakan salah satu energi yang diperlukan untuk menggerakkan dan mengaktifkan beban atau perangkat elektronik yang mempunyai sifat resistif, induktif, atau kapasitif. Oleh karena energi listrik sudah menjadi kebutuhan yang sangat penting untuk menunjang aktivitas sehari-hari, maka kesinambungan pendistribusian energi listrik harus tetap dijaga agar sampai ke konsumen dengan kualitas dan keandalan yang baik.

Dalam pengoperasian sistem tenaga listrik sering terjadi gangguan yang mengakibatkan terganggunya penyaluran tenaga listrik ke konsumen. Gangguan merupakan hambatan terhadap suatu sistem yang sedang beroperasi atau suatu kondisi sistem distribusi tenaga listrik yang menyimpang dari kondisi normalnya. Gangguan yang sering terjadi pada sistem distribusi jaringan tegangan menengah 20 kV adalah gangguan hubung singkat dan gangguan beban lebih

[1]. Gangguan hubung singkat dapat berupa hubung singkat fasa ke fasa, hubung singkat 1 fasa ke tanah, hubung singkat 2 fasa ke tanah, hubung singkat 3 fasa ke tanah, sedangkan gangguan beban lebih terjadi akibat pembebanan sistem distribusi yang melebihi kapasitas sistem terpasang. Proteksi yang digunakan agar gangguan tidak meluas dan tidak mengganggu wilayah sehat adalah relai arus lebih (OCR) dan relai gangguan tanah (GFR).

Berhubung dengan hal ini penulis akan membahas tentang penyebab terjadinya hubung singkat atau arus beban lebih yang dapat terjadi pada over current relay (OCR) dan ground error relay (GFR) pada jaringan distribusi PD Tuah Sekata

### 1.1. Gangguan hubung singkat

Hubungan pendek merupakan suatu gangguan yang terjadi karena adanya gangguan antar bagian yang bertegangan dan dapat juga terjadi akibat isolasi

yang tembus atau rusak karena tidak dapat menahan tegangan lebih, baik yang berasal dari dalam maupun dari luar. Hubungan pendek dapat menimbulkan arus yang jauh lebih besar dari arus normal. Jika hubung singkat dibiarkan berlangsung dalam jangka waktu yang lama pada suatu sistem tenaga listrik, banyak dampak yang tidak diinginkan yang akan terjadi. Berikut ini adalah akibat dari arus pendek:

- Mengurangi batas stabilitas sistem tenaga
- Kerusakan peralatan yang dekat dengan gangguan
- Ledakan dapat terjadi pada peralatan yang mengandung minyak isolasi.
- Terpecahnya seluruh wilayah layanan sistem tenaga listrik oleh serangkaian tindakan keamanan yang diambil oleh sistem keamanan yang berbeda; Peristiwa ini dikenal dengan istilah “*cascading*”.

## 1.2. Impedansi Jaringan

Sebelum menghitung arus hubung singkat, terlebih dahulu menghitung tegangan primer pada gardu saklar untuk berbagai jenis gangguan, kemudian menghitung pada titik-titik lain yang letaknya jauh dari gardu saklar. Perlu diketahui dasar-dasar impedansi rangkaian daya tegangan tinggi atau impedansi sumber, impedansi transformator, dan impedansi penyulang.

### a. Impedansi sumber

Untuk menghitung impedansi sumber pada sisi bus 20 kV, terlebih dahulu harus menghitung impedansi sumber pada bus 150 kV. Impedansi sumber pada bus 150 kV diperoleh dengan rumus :

$$X_s = \frac{kV^2}{MVA} \quad (1)$$

Dimana :

$X_s$  = Impedansi sumber (ohm)

kV2 = Tegangan sisi primer trafo tenaga (kV)

MVA = Data hubung singkat di bus 150 kV (MVA)

Arus gangguan hubung singkat pada sisi 20 kV diperoleh dengan terlebih dahulu mengkonversi impedansi sumber pada bus 150 kV ke sisi 20 kV. Untuk mengubah impedansi yang terletak pada sisi 150 kV ke sisi 20 kV dapat dihitung dengan menggunakan rumus :

$$X_s(sisi\ 20kV) = \frac{20^2}{150^2} \times X_s(sisi\ 150kV) \quad (2)$$

### b. Impedansi transformator

Dalam menghitung impedansi suatu transformator diambil nilai reaktansinya, sedangkan

hambatannya diabaikan karena kecil. Langkah pertama mencari nilai ohm 100% untuk trafo 20 kV dengan menggunakan rumus :

$$X_t(pada\ 100\%) = \frac{kV^2}{MVA} \quad (3)$$

Dimana :

$X_t$  = Impedansi trafo tenaga (ohm)

kV2 = Tegangan sisi sekunder trafo tenaga (kV)

MVA = Kapasitas daya trafo tenaga (MVA)

Selanjutnya mencari nilai reaktansi tenaga :

- Untuk mendapatkan nilai reaktansi urutan positif dan negatif ( $X_{t1} = X_{t2}$ ) dicari dengan menggunakan rumus:  
 $X_t = \% \text{ yang diketahui } \times X_t(pada\ 100\%)$
- Sebelum menghitung reaktansi urutan nol ( $X_{t0}$ ) terlebih dahulu harus diketahui data pada trafo daya itu sendiri yaitu data kapasitas belitan delta pada trafo.
- Untuk trafo daya dengan sambungan belitan Y dimana kapasitas belitan delta sama dengan kapasitas belitan Y, maka  $X_{t0} = X_{t1}$
- Untuk trafo daya dengan sambungan belitan Yd dimana kapasitas belitan delta (d) biasanya sepertiga dari kapasitas belitan Y (belitan yang digunakan untuk menyalurkan daya), sedangkan belitan delta tetap berada di dalam tetapi tidak dilepas kecuali satu terminal delta. untuk ditanahkan), maka nilai  $X_{t0} = 3 \times X_{t1}$ .
- Untuk trafo tenaga dengan sambungan belitan YY dan tidak mempunyai belitan delta di dalamnya, maka untuk menghitung nilai  $X_{t0}$  berkisar antara 9 s/d 14 x  $X_{t1}$

### c. Impedansi penyulang

Perhitungan impedansi penyulang tergantung pada impedansi per km penyulang yang akan dihitung, jenis penghantar, luas penampang dan panjang penghantar. Selain itu konduktor juga dipengaruhi oleh perubahan suhu dan konfigurasi penyulang. Contoh nilai impedansi suatu penyulang :

$$Z = (R + jX) \quad (4)$$

Maka impedansi penyulang dapat dicari memakai rumus :

- Urutan positif dan urutan negatif  
 $Z_1 = Z_2 = \% \text{ panjang } \times \text{ panjang penyulang (km)} \times \frac{Z_1}{Z_2} \text{ (ohm)}$

Dimana :

$Z_1$  = Impedansi urutan positif (ohm)

$Z_2$  = Impedansi urutan negatif (ohm)

- Urutan nol

$Z_0 = \% \text{ panjang } \times \text{ panjang penyulang (km)} \times mZ_0 \text{ (ohm)}$

Dimana :

$Z_0$  = Impedansi urutan nol (ohm)

#### d. Impedansi ekuivalen jaringan

Nilai impedansi ekuivalen jaringan adalah ekuivalen positif, negatif, dan nol dari titik gangguan hingga sumber. Karena dari sumber ke titik gangguan impedansi yang terbentuk dihubungkan secara seri, maka perhitungan  $Z_{1eq}$  dan  $Z_{2eq}$  dapat dilakukan langsung dengan menjumlahkan impedansinya, sedangkan perhitungan  $Z_{0eq}$  dimulai dari titik gangguan ke trafo daya yang netralnya dibumikan. Impedansi ekuivalen jaringan dihitung menggunakan rumus :

- Urutan positif dan urutan negatif ( $Z_{1eq} = Z_{2eq}$ )  
 $Z_{1eq} = Z_{2eq} = Z_{s1} + Z_{t1} + Z_1$  penyulang

Dimana :

$Z_{1eq}$  = Impedansi ekuivalen jaringan urutan positif

$Z_{2eq}$  = Impedansi ekuivalen jaringan urutan negatif

$Z_{s1}$  = Impedansi sumber sisi 20 kV

$Z_{t1}$  = Impedansi trafo tenaga urutan positif dan negatif

$Z_1$  = Impedansi urutan positif dan negatif

- Urutan nol

$$Z_{0eq} = Z_{t0} + 3R_N + Z_0 \text{ penyulang}$$

Dimana :

$Z_{0eq}$  = Impedansi ekuivalen jaringan nol

$Z_{t0}$  = Impedansi trafo tenaga urutan nol

$R_N$  = Tahanan tanah trafo tenaga

$Z_0$  = Impedansi urutan nol

### 1.3. Jenis arus Gangguan Hubung Singkat

Perhitungan arus gangguan hubung singkat dapat dicari dengan memakai rumus dasar. Impedansi ekuivalen yang termasuk dalam rumus dasar berdasarkan jenis gangguannya, yaitu

#### 1. Hubung singkat tiga fasa

Untuk gangguan hubung singkat tiga fasa, rumus dasar yang digunakan untuk menghitung nilai arus gangguan hubung singkat tiga fasa adalah:

$$I = \frac{V}{Z}$$

Maka arus gangguan hubung singkat tiga fasa dapat dihitung menggunakan rumus :

$$I_{3fasa} = \frac{V_{ph}}{Z_{1eq}} \quad (5)$$

Dimana :

$I_{3fasa}$  = Arus gangguan hubung singkat tiga fasa (A)

$$V_{ph} = \frac{\text{Tegangan fasa - netral sistem 20 kV}}{\sqrt{3}}$$

$Z_{1eq}$  = Impedansi ekuivalen urutan positif (ohm)

#### 2. Hubung singkat dua fasa

Gangguan hubung singkat dua fasa pada saluran tenaga dengan sambungan transformator YY dengan netral. Persamaan pada kondisi gangguan hubung singkat 2 fasa ini adalah :

$$mV_S = V_T$$

$$I_R = 0$$

$$I_R = -I_T$$

Arus gangguan hubung singkat dua fasa dapat dihitung menggunakan rumus

$$I_{sc2\phi} = \frac{V_{ph}}{Z_{1eq} + Z_{2eq}} \quad (6)$$

Karena  $Z_{1eq} = Z_{2eq}$ , maka :

$$I_{sc2\phi} = \frac{V_{ph}}{(2 \times Z_{1eq}) + Z_{0eq}} \quad (7)$$

Dimana :

$I_{sc2\phi}$  = Arus gangguan hubung singkat dua fasa (A)

$V_{ph}$  = Tegangan fasa - fasa sistem 20 kV

$Z_{1eq}$  = Impedansi urutan positif (ohm)

#### 3. Hubung singkat satu fasa ke tanah

Rumus pada kondisi gangguan hubung singkat satu fasa ke tanah ini adalah :

$$V_T = 0$$

$$I_S = 0$$

$$I_T = 0$$

Arus hubung singkat satu fasa ke tanah dapat dihitung menggunakan rumus :

$$I_{sc1\phi N} = \frac{3 \times V_{ph}}{Z_{1eq} + Z_{2eq} + Z_{0eq}} \quad (8)$$

Karena  $Z_{1eq} = Z_{2eq}$ , maka

$$I_{sc1\phi N} = \frac{3 \times V_{LN}}{(2 \times Z_{1eq}) + Z_{0eq}} \quad (9)$$

Dimana :

$I_{sc1\phi N}$  = Arus gangguan hubung singkat satu fasa ke tanah (A)

$$V_{ph} = \frac{\text{Tegangan fasa - netral sistem 20 kV}}{\sqrt{3}}$$

$Z_{1eq}$  = Impedansi urutan positif (ohm)

$Z_{0eq}$  = Impedansi urutan nol (ohm)

#### 4. Hubung singkat dua fasa ke tanah

Gangguan yang terjadi karena adanya keterhubungan antara saluran dua fasa dengan tanah.

$$I_{2fasa} = \frac{V_{ph-ph}}{Z_1 + \frac{Z_{2eq} Z_{0eq}}{Z_{2eq} + Z_{0eq}}} \quad (10)$$

Dimana :

$I_{2fasa}$  = Arus gangguan hubung singkat dua fasa ke tanah (A)

$V_{ph-ph}$  = Tegangan fasa - fasa sistem 20 kV

$Z_{1eq}$  = Impedansi urutan positif (ohm)

$Z_{0eq}$  = Impedansi urutan nol (ohm)

#### 1.4. Proteksi Tenaga Listrik

Proteksi adalah suatu sistem kelistrikan yang mempunyai fungsi sebagai isolasi, pemisah dan pemutus jika terjadi gangguan dari kondisi tidak normal. Sistem proteksi biasa juga disebut sistem pengaman. Sistem proteksi dapat diklasifikasikan menjadi 2 kelompok berdasarkan fungsinya, yaitu:

##### 1. Pengaman utama

Merupakan pengaman yang mempunyai peranan penting dalam menjaga alat yang akan dilindungi, dan merupakan sistem proteksi yang utama, sehingga kerja dari sistem pengaman utama harus cepat agar apabila terjadi gangguan maka komponen yang terganggu akan segera diputus. dan tidak mengalami kerusakan parah.

##### 2. Pengaman cadangan

Merupakan pengaman yang disusun setelah pengaman utama, pengaman ini berfungsi jika terjadi kegagalan pada sistem pengaman utama

#### Relay Proteksi

Relay proteksi digunakan untuk mendeteksi gangguan pada sistem tenaga listrik khususnya untuk:

1. Memberikan sinyal bahaya berupa alarm dengan membuka Circuit Breaker (CB) guna memisahkan beberapa peralatan dari sistem pada saat terjadi gangguan atau kondisi tidak normal.
2. Memutuskan bagian sistem yang tidak normal sehingga dapat mencegah kesalahan yang akan terjadi selanjutnya.
3. Melepaskan pemutus arus (CB) apabila gangguan dirasa membahayakan peralatan listrik, contoh: trafo, generator dan lain sebagainya. Gangguan pada sistem tenaga listrik tidak dapat dihindari, namun gangguan dapat diminimalisir dan dalam waktu sesingkat-singkatnya dengan menggunakan relay proteksi

#### Syarat pada sistem proteksi

Beberapa syarat yang wajib dipenuhi untuk mengamankan peralatan listrik., adalah:

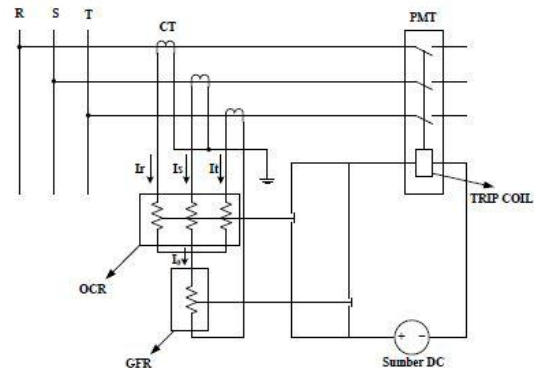
1. Keterandalan (Reliability)
2. Selektivitas (Selectivity)
3. Sensitivitas (*Sensitivity*)
4. Kecepatan Kerja
5. Ekonomis

#### Relay OCR

Relay arus lebih atau yang lebih dikenal dengan OCR (Over Current Relay) adalah peralatan yang memberi sinyal adanya arus lebih, baik yang disebabkan oleh hubung singkat maupun beban lebih yang dapat merusak peralatan sistem tenaga listrik yang berada dalam daerah proteksinya. Relay arus lebih ini digunakan hampir pada semua pola pengamanan sistem tenaga listrik, selanjutnya relai ini dapat digunakan sebagai pengaman primer maupun cadangan. Pada transformator daya, OCR hanya berfungsi sebagai proteksi cadangan terhadap gangguan luar atau sebagai cadangan pada penyulang keluar. OCR dapat dipasang pada sisi tegangan tinggi saja, atau pada sisi tegangan menengah saja, atau pada kedua sisi tegangan tinggi dan tegangan menengah secara bersamaan. Selanjutnya OCR dapat menjatuhkan PMT pada sisi tempat relay dipasang atau dapat menjatuhkan PMT pada kedua sisi trafo daya.[2]

#### Prinsip Kerja OCR

Prinsip kerja relay OCR adalah berdasarkan adanya arus lebih yang dirasakan relay, baik disebabkan adanya gangguan hubung singkat atau *overload* (beban lebih) untuk kemudian memberikan perintah trip ke PMT sesuai dengan karakteristik waktunya.



Gambar 1. Pengawatan OCR.[3]

Cara kerjanya dapat diuraikan sebagai berikut :

- Pada kondisi normal arus beban ( $I_b$ ) mengalir pada sistem dan oleh trafo arus besaran arus ini di transformasikan ke besaran sekunder ( $I_r$ ). Arus

(Ir) mengalir pada kumparan relay tetapi karena arus ini masih lebih kecil dari harga yang ditetapkan (setting), maka relai tidak bekerja.

- Bila terjadi gangguan hubung singkat, arus (Ib) akan naik dan menyebabkan arus (Ir) naik, apabila arus (Ir) naik melebihi harga yang telah ditetapkan (diatas setting), maka relay akan bekerja dan memberikan perintah trip pada tripping coil dan membuka PMT, sehingga sistem yang terganggu dipisahkan dari jaringan.

**Setting OCR**

1. Setting Arus OCR

Penyetelan relay OCR pada sisi primer dan sisi sekunder transformator tenaga terlebih dahulu harus dihitung arus nominal transformator tenaga. Arus setting untuk relay OCR baik pada sisi primer maupun pada sisi sekunder transformator tenaga adalah:

$$I_{set}(\text{primer}) = 1,05 \times I_n \tag{11}$$

Dimana :

$$I_{set}(\text{Primer}) = \text{Setelan Arus primer}$$

$$I_n = \text{Arus nominal (Arus Beban)}$$

Nilai tersebut adalah nilai primer. Untuk mendapatkan nilai setelan sekunder yang dapat diset pada relay OCR, maka harus dihitung dengan menggunakan ratio trafo arus (CT) yang terpasang pada sisi primer maupun sisi sekunder transformator tenaga.

$$I_{set}(\text{sekunder}) = I_{st}(\text{Primer}) \times \frac{1}{\text{Ratio CT}} \tag{12}$$

2. Setting waktu (TMS)

Hasil perhitungan arus gangguan hubung singkat, selanjutnya digunakan untuk menentukan nilai setelan waktu (TMS).

**Tabel 1.**

Karakteristik operasi waktu jenis relay inverse time. [2]

Tipe	Setelan waktu
Standart Inverse	$\frac{13,5 \times t}{(\frac{I_f}{I_s})^{0,02} - 1}$
Very Inverse	$\frac{13,5 \times t}{(\frac{I_f}{I_s}) - 1}$
Extremely Inverse	$\frac{80 \times t}{(\frac{I_f}{I_s})^2 - 1}$
Longtime Time Inverse	$\frac{120 \times t}{(\frac{I_f}{I_s}) - 1}$

**Pengertian Relay GFR**

Relay hubung tanah yang lebih dikenal dengan GFR ( *Ground Fault Relay* ) pada dasarnya mempunyai prinsip kerja sama dengan relay arus lebih ( OCR ) namun memiliki perbedaan dalam kegunaannya. Relay GFR mendeteksi adanya hubung singkat ke tanah.

**Prinsip Kerja GFR**

Pada kondisi normal beban seimbang Ir, Is, It sama besar, sehingga pada kawat netral tidak timbul arus dan relay hubung tanah tidak dialiri arus. Bila terjadi ketidakseimbangan arus atau terjadi gangguan hubung singkat ke tanah, maka akan timbul arus urutan nol pada kawat netral, sehingga relay hubung tanah akan bekerja.

**Setting GFR**

1. Arus setting GFR

Penyetelan relay GFR pada sisi primer dan sisi sekunder transformator tenaga terlebih dahulu harus dihitung arus nominal transformator tenaga. Arus setting untuk relay GFR baik pada sisi primer maupun pada sisi sekunder transformator tenaga adalah:

$$I_{set}(\text{primer}) = 0,2 \times I_{\text{nominal trafo}} \tag{13}$$

Nilai tersebut adalah nilai primer, Untuk mendapatkan nilai setelan sekunder yang dapat disetkan pada relay GFR, maka harus dihitung dengan menggunakan rasio trafo arus (CT) yang terpasang pada sisi primer maupun sisi sekunder transformator tenaga.

$$I_{set}(\text{sekunder}) = I_{st}(\text{Primer}) \times \frac{1}{\text{Ratio CT}} \tag{14}$$

2. Setelan waktu (TMS)

Hasil perhitungan arus gangguan hubung singkat, selanjutnya digunakan untuk menentukan nilai setelan waktu kerja relay (TMS). Sama halnya dengan relay OCR, relay GFR menggunakan rumus penyetingan TMS yang sama dengan relay OCR. Tetapi waktu kerja relay yang diinginkan berbeda. Relay GFR cenderung lebih sensitif dari pada relay OCR.

Untuk menentukan nilai TMS yang akan disetkan pada relay GFR sisi *incoming* 20 kV dan sisi 150 kV transformator tenaga diambil arus hubung singkat 1 fasa ke tanah.

Dalam mendapatkan pengamanan yang selektif, maka *setting* waktunya dibuat secara bertingkat. Untuk rumus yang digunakan menghitung Td (Time Dial) atau Tms (*Time Multiple Setting*) adalah :

$$Tms = \frac{t x \left(\frac{I_f}{I_s}\right)^{0.02} - 1}{0.14} \quad (15)$$

Umumnya Td minimum diset 0,5 atau 1 untuk relay diseksi hilir dan seksi hulunya Td diset pada nilai yang dapat memberikan  $t = 0,3 - 0,5$  detik [5]. Berdasarkan standart IEEE 242, yaitu

Waktu terbuka CB	: 0,04 – 0,1 detik
Overtravel dari relay	: 0,1 detik
Faktor keamanan	: 0,12 – 0,22 detik

Untuk relay statis dan relay digital berbasis microprosesor overtravel time dari relay dapat diabaikan. Sehingga total setting kelambatan waktu atau grading time diperlukan adalah 0,2 – 0,4 detik. [5]

## 2. Metodologi

Penelitian ini dilakukan melalui tahap – tahap yang bertujuan untuk mencari dan membuat pemecahan masalah. Metodologi yang digunakan dalam penelitian ini antara lain:

1. Studi Literatur  
Mengumpulkan referensi dari buku – buku dan jurnal yang menunjang penelitian ini yaitu teori yang berhubungan dengan *Over Current Relay (OCR)*, *Ground Fault Relay (GFR)*, gangguan hubung singkat.
2. Studi Lapangan  
Mengumpulkan data – data yang diperlukan secara langsung dari tempat objek penelitian yaitu PD. Tuah Sekata pangkalan Kerinci-Riau
3. Pengumpulan Data  
Melakukan pengumpulan referensi dari buku, jurnal, skripsi serta internet yang berhubungan dengan penelitian ini.
4. Pengolahan Data.  
Semua data yang telah dikumpulkan akan dihitung dan dianalisa.
5. Analisa  
Berisikan analisa terkait relay OCR dan relay GFR
6. Kesimpulan  
Menghasilkan kesimpulan dan saran dari data yang diolah serta analisa perhitungan.

## 3. Hasil dan Pembahasan

Penelitian ini membahas analisa *Over current relay* dan *Ground Fault Relay* pada jaringan distribusi

20 kV di gardu hubung PD. Tuah Sekata. Disini akan dihitung nilai impedansi jaringan, arus gangguan hubung singkat, setting OCR dan GFR begitu juga parameter yang lain dapat dilihat pada uraian subbab-subbab.

### 3.1. Perhitungan Impedansi Jaringan

Sebelum melakukan perhitungan arus hubung singkat, lebih dahulu dihitung daya tegangan primer di gardu hubung untuk berbagai jenis gangguan, kemudian menghitung pada titik – titik lain yang terletak semakin jauh dari gardu hubung tersebut. Perlu diketahui dasar impedansi urutan daya tegangan tinggi atau impedansi sumber, impedansi transformator dan impedansi penyulang.

#### a. Menghitung impedansi sumber

Menghitung besar nilai impedansi sumber ( $X_s$ ) terlebih dahulu dicari daya hubung singkat ( $MVA_{sc}$ ) menggunakan persamaan 1, berdasarkan data teknis, maka diperoleh :

$$\begin{aligned} MVA_{sc} &= \sqrt{3} X I_{sc(20kV)} x V_{ph(150kV)} \\ MVA_{sc} &= \sqrt{3} X 25 \text{ kA} X 150 \text{ kV} \\ MVA_{sc} &= 6495,19 \text{ MVA} \end{aligned}$$

Dengan diperoleh nilai ( $MVA_{sc}$ ) nilai impedansi sumber sisi primer 150 kV dapat dihitung menggunakan persamaan 2 :

$$\begin{aligned} X_{S150kV} &= \frac{kV(sisi\ primer)^2}{MVA_{sc}} \\ X_{S(150kV)} &= \frac{150 \text{ kV}}{6495,19} \\ X_{S150kV} &= 3,464 \Omega \end{aligned}$$

Untuk mendapatkan arus hubung singkat pada sisi sekunder 20 kV maka nilai impedansi sumber yang digunakan adalah nilai impedansi sumber sisi sekunder 20 kV, sehingga impedansi sumber sisi sekunder 20 kV :

$$\begin{aligned} X_{S20kV} &= \frac{kV(sisi\ sekunder)^2}{MVA_{sc}} \\ X_{S20kV} &= \frac{20 \text{ kV}^2}{6495,19} \\ X_{S20kV} &= 0,0616 \Omega \end{aligned}$$

#### b. Menghitung reaktansi trafo

Untuk menghitung nilai reaktansi transformator urutan positif/negative maupun reaktansi urutan nol digunakan data teknis impedansi transformator di gardu hubung. Menghitung nilai reaktansi transformator pada kondisi 100% menggunakan persamaan 3

$$X_{t(100\%)} = \frac{kV^2}{MVA \text{ trafo}}$$

$$X_{t(100\%)} = \frac{20^2}{60}$$

$$X_{t(100\%)} = 6,67 \Omega$$

Nilai reaktansi transformator untuk urutan positif, urutan negatif dan urutan nol dapat dihitung sebagai berikut :

- Urutan positif dan negatif ( $X_{t1} = X_{t2}$ )  
 Untuk mencari nilai reaktansi transformator dengan melihat nilai impedansi pada *datasheet* transformator, dimana transformator 1 yang ada di gardu hubung nilai impedansi sebesar 12.5%.

$$X_{t1} = \text{impedansi trafo} \times X_{t(100\%)}$$

$$X_{t1} = 12,5\% \times 6,67 \Omega$$

$$X_{t1} = 0,833 \Omega$$

- Urutan nol ( $X_{t0}$ )  
 Berdasarkan data yang diperoleh di gardu hubung transformator memiliki *vector group* YNyn0+d yang artinya transformator memiliki belitan bintang di sisi primer dan memiliki belitan bintang di sisi sekunder, biasanya nilai reaktansi urutan nol sama dengan impedansi urutan positif/negatif sehingga nilai reaktansi transformator urutan nol ( $X_{t0}$ ) dirumuskan :

$$X_{t0} = X_{t1}$$

$$X_{t0} = 0,833\Omega$$

**c. Menghitung Impedansi Penyulang**

Berdasarkan data dapat ditentukan nilai impedansi penyulang urutan positif / negatif dan Urutan Nol :

$$Z_{\text{positif/negatif}} = ((\% \text{ Gangguan Penyulang} \times \text{Panjang Penyulang}) : 100\%) \times Z_1$$

$$= ((25\% \times 18,47) : 100) \times (0,1344 + j 0,3158)$$

$$= 4,61 \times (0,1344 + j 0,3158)$$

$$= 0,6196 + j 1,455 \Omega$$

$$Z_0 = ((\% \text{ Gangguan Penyulang} \times \text{Panjang Penyulang}) : 100\%) \times Z_0$$

$$= ((25\% \times 18,47) : 100) \times (0,2824 + j 1,6033)$$

$$= 4,61 ( 0,2824 + j 1,6033)$$

$$= 1,3018 + j 7,3912$$

Perhitungan impedansi penyulang positif / negatif dan urutan nol selanjutnya dapat dilihat pada tabel 1.

**Tabel 1.**  
Impedansi Penyulang Urutan Positif/Negatif dan Urutan Nol

TITIK (%)	Jarak (KM)	Impedansi Urutan Positif/Negatif ( $Z_1=Z_2$ )	Impedansi Urutan Nol ( $Z_0$ )
0	0	0	0
25	4.61	0.6196 + j 1.4558	1,3018 + j 7,3912
50	9.22	1.2391 + j 2.9116	2,6037+ j 14,7824
75	13.83	1.8587 + j 4.3675	3,9055+ j 22,1736
100	18.47	2.4823 + j 5.8328	5,2159+ j 29,6129

Hasil perhitungan untuk Impedansi Penyulang Urutan Nol pada tabel 1 bahwa semakin jauh jarak dan besar persentasi titik gangguan semakin besar pula nilai impedansi penyulang urutan Nol.

**d. Menghitung Impedansi Ekvivalen Jaringan**

Untuk menghitung impedansi ekvivalen pada urutan positif/negatif digunakan rumus :

$$Z_{1eq} = Z_{2eq} = X_{S(20kV)} + X_{t1} + Z_1 \text{ penyulang}$$

$$= j 0,0616 + j 0,833 + (0.6196 + j 1.4558)$$

$$= j 0,8946 + (0.6196 + j 1.4558)$$

$$= 0,6196 + j 2,3504$$

Dalam perhitungan untuk Impedansi Ekvivalen Urutan Nol menggunakan rumus :

$$Z_{0eq} = Z_0 + 3R_N + Z_0 \text{ penyulang.}$$

$$= j 0,833 + (1,2 + 1,3018) + j 7,3912$$

$$= 2,5018 + j 8,2242$$

Perhitungan impedansi ekvivalen urutan positif/negative dan urutan nol selanjutnya dapat dilihat pada tabel 2.

**Tabel 2.**  
Impedansi Ekvivalen Urutan Positif/Negatif Dan Urutan Nol

TITIK (%)	Jarak (KM)	Impedansi Ekvivalen Urutan Positif / Negatif ( $Z_{1eq} = Z_{2eq}$ )	Impedansi Ekvivalen Urutan Nol ( $Z_{0eq}$ )
0	0	0 + j 0,8946	1,2 + j 0,833
25	4.61	0,6196 + j2,3504	2,5018 + j8,2242
50	9.22	1.2391 + j 2.2844	3,8037 + j15,6154
75	13.83	1.8587 + j 5,2621	5,1055 + j23,0066
100	18.47	2.4823 +j 6,7274	6,4159 + j 30,4459

Dengan hasil perhitungan untuk Impedansi Ekvivalen Urutan Positif/Negatif dan urutan nol pada tabel 2 menunjukkan semakin jauh jarak dan besar persentasi jarak titik gangguan semakin besar pula nilai impedansi Ekvivalen Urutan Positif/Negatif dan urutan nol.

**3.2. Perhitungan Arus Gangguan Hubung Singkat**

Gangguan hubung singkat yan terjadi didalam jaringan (system kelistrikan) ada 3 , yaitu :

- Gangguan hubung singkat 3 fasa
- Gangguan hubung singkat 2 fasa
- Gangguan hubung singkat 1 fasa ke tanah

Perhitungan Gangguan Hubung Singkat ini dihitung besarnya berdasarkan panjang penyulang, yaitu diasumsikan terjadi di 25%, 50%, 75% dan 100% panjang penyulang .

Setelah mendapatkan impedansi ekvivalen sesuai dengan lokasi gangguan, selanjutnya perhitungan arus gangguan hubung singkat dapat dihitung dengan menggunakan rumus dasar seperti dijelaskan sebelumnya, hanya saja impedansi ekvivalen yang dimasukkan ke dalam rumus dasar tersebut tergantung dari jenis gangguan hubung singkatnya, dimana

gangguan hubung singkat terdiri dari gangguan hubung singkat 3 fasa, 2 fasa atau 1 fasa ke tanah.

**a. Arus Hubung Singkat 3 Phase (L-L-L)**

Setelah nilai impedansi ekivalen yang sebelumnya dihitung didapat dimasukan kedalam persamaan diperoleh hasilnya. Untuk mencari nilai arus hubung singkat 3 phase digunakan persamaan 5 :

$$I_{sc}3\emptyset = \frac{V_{LN}}{Z_{1eq}}$$

$$I_{sc}3\emptyset = \frac{20000 \sqrt{3}}{0 + j 0,8946}$$

$$I_{sc}3\emptyset = \frac{11547}{\sqrt{0^2 + j 0,8946^2}}$$

$$I_{sc}3\emptyset = \frac{11547}{0,8948} = 12903,12 \text{ A}$$

Hasil perhitungan nilai arus hubung singkat 3 phase selanjut dapat dilihat pada tabel 3.

**b. Arus Hubung Singkat 2 Phase (L-L)**

Untuk mencari nilai arus hubung singkat 2 phase digunakan persamaan 7 sebagai berikut :

$$I_{sc}2\emptyset = \frac{V_{ph}}{(2 \times Z_{1eq}) + Z_{0eq}}$$

$$I_{sc} 2\emptyset = \frac{20000}{2 \times (j 0.8949)}$$

$$= 11174.43$$

Nilai arus hubung singkat 2 phase selanjutnya tertera dalam tabel 3.

**c. Arus Hubung Singkat 1 Phase-Tanah (L-G)**

Untuk mencari nilai arus hubung singkat 1 phase-tanah dapat digunakan persamaan 9

$$I_{1\emptyset - N} = \frac{3 \times V_{LN}}{(2 \times Z_{1eq}) + Z_{0eq}}$$

$$= \frac{34641.01}{2 \times (j 0.8949) + 1.2 + j 2.5}$$

$$= 10825.03$$

Tabel 3. Menunjukkan hasil perhitungan arus hubung singkat 3 fasa, 2 fasa dan 1 fasa ke tanah.

**Tabel 3.**  
Arus Hubung Singkat

TITIK (%)	Jarak (KM)	Arus Hubung Singkat		
		3Fasa (A)	2Fasa (A)	1 Fasa-Tanah(A)
0	0	12903.12	11174.43	10825.03
25	4.61	7141.14	6184.42	4259.89
50	9.22	4893.4	4237.81	2631.42
75	13.83	3714.72	3217.05	1901.84
100	18.47	2991.78	2590.96	1488.62

Dari data perhitungan untuk arus gangguan hubung singkat pada tabel 3.dapat disimpulkan bahwa besar kecilnya arus gangguan berbanding terbalik dengan titik lokasi gangguan, semakin jauh titik lokasi terjadinya gangguan maka semakin kecil nilai arus

gangguan dan jika titik lokasi gangguan semakin dekat maka arus gangguan semakin besar,

**3.3. Menentukan Nilai Setting OCR Dan GFR**

**a. Nilai Setting OCR di sisi Penyulang**

Untuk mencari settingan arus pada relay arus lebih pada penyulang dibutuhkan data-data berupa arus beban yang terdapat pada penyulang tersebut serta perbandingan CT yang terdapat pada penyulang. Hasil pengambilan data di gardu hubung didapatkan arus beban ( $I_{load}$ ) sebesar 480 A sedangkan untuk perbanding CT sebesar 400/1. Untuk mendapatkan nilai settingan arus di relay arus lebih digunakan langkah seperti :

- Mencari arus primer pada penyulang untuk relay arus lebih

$$I_{SET \text{ primer}} = 1,05 \times I_{load}$$

$$I_{SET \text{ primer}} = 1,05 \times 480$$

$$I_{SET \text{ primer}} = 504 \text{ Ampere}$$

- Mencari arus sekunder pada penyulang untuk relay arus lebih

$$I_{SET \text{ sekunder}} = I_{SET \text{ primer}} \times \frac{1}{CT}$$

$$I_{SET \text{ sekunder}} = 504 \times \frac{1}{400}$$

$$I_{SET \text{ sekunder}} = 1,26 \text{ Amp}$$

$I_{SET}$  sekunder merupakan nilai arus yang dimasukan dalam settingan relay arus lebih,  $I_{SET}$  sekunder juga disebut  $I_{PICK-UP}$ .

Sedangkan untuk mencari nilai settingan waktu pada relay arus lebih atau yang lebih sering disebut dengan nilai tms (*time multiplexer setting*) data yang dibutuhkan adalah kurva karakteristik yang digunakan pada relay tersebut serta nilai arus gangguan hubung singkat 3 phase atau 2 phase yang paling besar. Hasil pengambilan data dari gardu hubung didapatkan karakteristik kurva yang digunakan adalah *standard inverse* dengan waktu kerja relay 3 detik, sedangkan untuk arus gangguan hubung singkat maksimum pada 3 phase atau 2 fasa sebesar 12903 A. Untuk mencari nilai settingan waktu pada relay arus lebih dapat dicari menggunakan persamaan rumus dibawah ini :

$$tms = \frac{t \times ((\frac{I_{ffault}}{I_{set \text{ Primer}}})^{0,02} - 1)}{0,14}$$

$$tms = \frac{0,3 \times ((\frac{12903}{504})^{0,02} - 1)}{0,14}$$

$$tms = 0,143 \text{ detik}$$

**b. Nilai Setting GFR di sisi Penyulang**

Untuk mencari nilai setting *relay* GFR penyulang arus gangguan hubung singkat 1 phase-tanah harus dibuat lebih kecil dari lokasi gangguan paling jauh, hal ini bertujuan agar *relay* GFR lebih peka dalam merasakan gangguan. Maka perhitungannya  $8\% \times$  arus gangguan 1 phase-tanah paling jauh yaitu pada titik 100% panjang penyulang. Untuk mencari nilai settingan arus di *relay* GFR bisa dicari menggunakan langkah seperti dibawah ini :

- Mencari arus primer pada penyulang untuk *relay* GFR

$$I_{SET \text{ primer}} = 8\% \times I_{sc} 1\emptyset - N_{(100)}$$

$$I_{SET \text{ primer}} = 8\% \times 1488,62$$

$$I_{SET \text{ primer}} = 119,089A$$

- Mencari arus sekunder pada penyulang untuk *relay* GFR

$$I_{SET \text{ sekunder}} = I_{SET \text{ primer}} \times \frac{1}{CT}$$

$$I_{SET \text{ sekunder}} = 119,0896 \times \frac{1}{400}$$

$$I_{SET \text{ sekunder}} = 0,298A$$

Untuk mencari nilai settingan waktu pada *relay* GFR atau nilai *tms* (*time multiplexer setting*) data yang dibutuhkan adalah kurva karakteristik yang digunakan pada *relay* tersebut serta nilai arus gangguan hubung singkat 1 phase-tanah yang paling kecil. Hasil pengambilan data pada gardu hubung didapatkan karakteristik kurva yang digunakan adalah *standard inverse* dengan waktu kerja *relay* 3 detik, sedangkan untuk arus gangguan hubung singkat minimum pada 1 phasa-tanah sebesar 1488,62 A. Sehingga nilai settingan waktu di *relay* GFR

$$tms = \frac{t \times \left( \left( \frac{I_{ffault}}{I_{set \text{ Primer}}} \right)^{0,02} - 1 \right)}{0,14}$$

$$tms = \frac{0,7 \times \left( \left( \frac{1488,62}{119,0896} \right)^{0,02} - 1 \right)}{0,14}$$

$$tms = 0,259 \text{ detik}$$

- c. Nilai Setting OCR di sisi *Incoming*

Untuk mencari nilai settingan arus di *relay* OCR bisa dicari menggunakan langkah seperti dibawah ini :

- Mencari arus nominal ( $I_n$ ) transformator *incoming* OCR

$$I_{nominal} (20kV) = \frac{kVA}{kV \times \sqrt{3}}$$

$$I_{nominal} (20kV) = \frac{60000}{20 \times \sqrt{3}}$$

$$I_{nominal} (20kV) = 1732,05 A$$

- Mencari arus primer pada sisi *incoming* untuk *relay* OCR

$$I_{SET \text{ primer}} = 1,05 \times I_n$$

$$I_{SET \text{ primer}} = 1,05 \times 1732,05$$

$$I_{SET \text{ primer}} = 1818,652 A$$

- Mencari arus sekunder pada penyulang untuk *relay* OCR sisi *Incoming*

$$I_{SET \text{ sekunder}} = I_{SET \text{ primer}} \times \frac{1}{CT}$$

$$I_{SET \text{ sekunder}} = 1818,652 \times \frac{1}{2000}$$

$$I_{SET \text{ sekunder}} = 0,909 A$$

Setelah menemukan nilai setting arus untuk *relay* arus lebih sisi *incoming*, selanjutnya mencari nilai setting *tms* (*time multiplexer setting*). Data yang diperlukan yaitu kurva yang digunakan dan arus gangguan hubung singkat 3 phase atau 2 phase paling besar, data yang diperoleh saat observasi yaitu untuk kurva yang digunakan adalah *standard inverse* dengan waktu kerja *relay* 4 detik, sedangkan arus gangguan maksimal sebesar 12903 A. Untuk mencari nilai settingan waktu di *relay* OCR bisa dicari menggunakan persamaan 15 :

$$tms = \frac{t \times \left( \left( \frac{I_{ffault}}{I_{set \text{ Primer}}} \right)^{0,02} - 1 \right)}{0,14}$$

$$tms = \frac{0,7 \times \left( \left( \frac{12903}{1818,65} \right)^{0,02} - 1 \right)}{0,14}$$

$$tms = 0,199 \text{ detik}$$

- d. Nilai Setting GFR di sisi *Incoming*

Untuk mencari nilai setting *relay* GFR sisi *incoming* arus gangguan hubung singkat 1 phase-tanah harus dibuat lebih kecil dari lokasi gangguan paling jauh dan lebih kecil dari sisi penyulang, hal ini bertujuan agar *relay* GFR lebih peka dalam merasakan gangguan. Maka perhitungannya adalah  $10\% \times$  arus gangguan 1 phase-tanah paling jauh yaitu pada titik 100% panjang penyulang. Untuk mencari nilai settingan arus di *relay* GFR bisa dicari menggunakan langkah seperti dibawah ini :

- Mencari arus primer untuk *relay* GFR sisi *incoming*

$$I_{SET \text{ primer}} = 10\% \times I_{sc} 1\emptyset - N_{(100)}$$

$$I_{SET \text{ primer}} = 10\% \times 1401,9$$

$$I_{SET \text{ primer}} = 144,19 A$$

- Mencari arus sekunder untuk *relay* GFR sisi *incoming*

$$I_{SET \text{ sekunder}} = I_{SET \text{ primer}} \times \frac{1}{CT}$$

$$I_{SET \text{ sekunder}} = 144,19 \times \frac{1}{2000}$$

$$I_{SET \text{ sekunder}} = 0,072 A$$

Hasil pengambilan data didapatkan karakteristik kurva yang digunakan *standard inverse* dengan waktu kerja *relay* 3 detik, sedangkan untuk arus gangguan

hubung singkat minimum pada 1 fasa-tanah sebesar 1488,62 A. Untuk mencari nilai settingan waktu relay GFR bisa dicari menggunakan persamaan 15.

$$tms = \frac{t \times \left( \left( \frac{I_{ffault}}{I_{set Primer}} \right)^{0,02} - 1 \right)}{0,14}$$

$$tms = \frac{0,7 \times \left( \left( \frac{1488,62}{144,19} \right)^{0,02} - 1 \right)}{0,14}$$

$$tms = 0,238 \text{ detik}$$

Tabel 4 memperlihatkan settingan OCR dan GFR hasil perhitungan dan hasil pengukuran di lapangan.

**Tabel 4.**  
Setting Hasil Perhitugn Dan Data Lapangan OCR Dan GFR

Posisi Relay	Setting	Hasil Perhitungan	Data Lapangan
OCR Incoming	Tms	0,199 detik	0,25 detik
	CT	2000/1 A	2000/1 A
	T	0,7 detik	0,6 detik
GFR Incoming	Tms	0,238 detik	0,42 detik
	CT	2000/1 A	2000/1 A
	T	0,7 detik	0,5 detik
OCR Penyulang	Tms	0,143 detik	0,23 detik
	CT	400/1 A	400/1 A
	T	0,3 detik	0,5 detik
GFR Penyulang	Tms	0,259 detik	0,25 detik
	CT	400/1 A	400/1 A
	T	0,3 detik	0,1 detik

#### 4. Simpulan

1. Dari hasil perhitungan didapatkan hasil setting koordinasi relai yaitu OCR Incoming Iset Primer = 1818,65 A, Iset Sekunder = 0,909 A, TMS = 0,199. Pada OCR Penyulang Iset Primer = 504 A, Iset Sekunder = 1,26 A, TMS = 0,199 sedangkan untuk GFR Incoming Iset Primer = 144,19 A, Iset Sekunder = 0,072 A, TMS = 0,238 dan GFR Penyulang Iset Primer = 140,19 A, Iset Sekunder = 0,35 A, TMS = 0,23
2. Hasil perhitungan dengan data yang ada dilapangan masih dalam kondisi yang sesuai, sehingga dapat disimpulkan bahwa secara keseluruhan setting OCR-GFR yang ada dilapangan masih dalam kondisi baik.

#### Daftar Pustaka

- [1] M.Rizki, "Evaluasi koordinasi ocr dan gfr di gardu induk distribusi," vol. 7, pp. 1–10, 2020.

- [2] M. Rauf, "Evaluasi Kinerja Setting Proteksi Over Current Relay dan Ground Fault Relay Jaringan Distrbusi 20 kV pada Gardu Induk Pankkukang," no. September, pp. 162–167, 2021.
- [3] 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.
- [4] W. G. Ariastina, "Dan Gfr Pada Penyulang Tibubeneng," vol. 14, no. 2, pp. 50–56, 2015.
- [5] I. D. G. Agung Budhi Udiana, I. G. Dyana Arjana, and T. G. Indra Partha, "Studi Analisis Koordinasi Over Current Relay (Ocr) Dan Ground Fault Relay (Gfr) Pada Recloser Di Saluran Penyulang Penebel," *Maj. Ilm. Teknol.Elektro*, vol.16,no.2,p.37, 2017, doi: 10.24843/mite.2017.v16i02p07.
- [6] I. G. P. Arka, N. Mudiana, and K. Abasana, "Analisis Arus Gangguan Hubung Singkat Pada Penyulang 20 Kv Dengan Over Current Relay ( OCR ) Dan Ground Fault Relay ( GFR ) Analysis of Short Circuit Current in the 20 Kv Feeder By Using Over Current Relay ( OCR ) and Ground Fault Relay ( GFR )," *J. Log.*, vol. 16, no. 1, pp. 46–52, 2016.
- [7] Indra Baskara1, I W. Sukerayasa2, W.G. Ariastina, (2015). Studi Koordinasi Peralatan Proteksi Ocr Dan Gfr Pada Penyulang Tibubeneng