

I.

# ANALISA RESETTING OVER CURRENT RELAY DAN GROUND FAULT RELAY PADA TRAFU 60 MVA 150/20 kV DAN PENYULANG 20 kV GARDU INDUK PADANG SAMBIAN

Indra Gunawan<sup>1</sup>, Wayan Rinas<sup>2</sup>, I Gusti Ngurah Janardana<sup>3</sup>

Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik Universitas Udayana

Email: [indragunawan596@gmail.com](mailto:indragunawan596@gmail.com)<sup>1</sup>, [rinas@unud.ac.id](mailto:rinas@unud.ac.id)<sup>2</sup>, [janardana@unud.ac.id](mailto:janardana@unud.ac.id)<sup>3</sup>

## Abstrak

Kebutuhan energi listrik di Bali mengalami peningkatan pertahunnya sebesar 135,2 GWh, sehingga Perusahaan Listrik Negara (PLN) dituntut untuk menambah pusat-pusat pembangkit baru atau penambahan trafo untuk melayani beban disisi penyulang. Gardu Induk Padang Sambian telah dilakukan penambahan trafo baru dan penyulang Padang Sambian direkonfigurasi. Rekonfigurasi penyulang menyebabkan nilai impedansi penyulang berubah, sehingga berpengaruh terhadap setting sistem proteksi seperti Over Current Relay (OCR) dan Ground Fault Relay (GFR). Perhitungan penyetelan arus maupun waktu kerja relay OCR dan GFR dapat meminimalisir gangguan yang terjadi. Besarnya arus hubung singkat yang terjadi pada penyulang Padang Sambian dihitung untuk menentukan nilai setting relay. Hasil analisis didapatkan nilai setting arus OCR pada sisi incoming sebesar 0,91 A dengan Time Multiplier Setting (TMS) adalah 0,2 SI dan OCR pada sisi outgoing sebesar 2,063 A dengan TMS adalah 0,161 SI. Nilai setting arus untuk GFR pada sisi incoming sebesar 0,01 A dengan TMS adalah 0,27 SI dan nilai setting arus GFR pada sisi outgoing sebesar 0,16 A dengan TMS adalah 0,106 SI. Hasil dari simulasi Electrical Power System Analysis (ETAP) didapatkan kurva koordinasi OCR dan GFR karakteristik arus terhadap waktu atau Time-Curve Current (TCC) tidak berpotongan. Hal tersebut menunjukkan bahwa koordinasi berjalan baik dan memenuhi persyaratan sensitifitas, keandalan, selektivitas dan kecepatan.

**Kata Kunci:** Setting, Relay, Penyulang, Rekonfigurasi.

## Abstract

Electricity energy needs in Bali have increased annually by 135,2 GWh, as a result, the State-Owned Electricity Company (PLN) is being required to add new power plants or the addition of transformer to serve load side feeders. New transformer have been added to Padang Sambian substation and the reconfiguration of Padang Sambian feeders. The reconfiguration causes the feeder impedance value to change, thus affecting the protection system such as Over Current Relay (OCR) and Ground Fault Relay (GFR). Calculation of current setting and OCR and GFR relay work time can minimize the interference that occurs. The amount of short circuit current that occurs in Padang Sambian feeders was calculated to determine the value of relay settings. The result of the analysis showed that the OCR current setting value for the incoming side of 0,91 A with Time Multiplier Setting (TMS) was 0,2 SI and OCR on the outgoing side of 2,063 A with TMS of 0,161 SI. The value of current setting for the incoming GFR was 0,01 A with TMS of 0,27 SI and the setting value of the GFR current on the outgoing side was 0,16 A with TMS of 0,106 SI. The result of Electrical Power System Analysis (ETAP) simulation obtained an OCR and GFR coordination curve that did not intersect the Time-Curve Current (TCC) characteristic. This shows that coordination runs well and meets sensitivity, reliability, selectivity and speed requirements..

**Keyword:** Setting, Relay, Feeder, Reconfiguration.

## 1. PENDAHULUAN

Kebutuhan energi listrik di Bali pada sektor rumah tangga mengalami rata-rata

peningkatan pertahun sebesar 55,71 GWh, sektor komersial sebesar 73,39 GWh, sektor publik sebesar 5,64 GWh dan sektor industri

## I.

sebesar 0,46 GWh [1]. Besarnya peningkatan kebutuhan energi listrik PLN dituntut untuk menambah pusat-pusat pembangkit baru atau penambahan trafo yang dapat melayani kebutuhan beban disisi penyulang.

Pada Gardu Induk Padang Sambian dilakukan penambahan trafo baru yang dapat melayani kebutuhan beban disisi penyulang, sehingga menyebabkan rekonfigurasi penyulang Padang Sambian dan berdampak pada berubahnya nilai impedansi penyulang, sehingga mempengaruhi nilai *setting* sistem proteksi, seperti Over Current Relay (OCR) dan Ground Fault Relay (GFR). Diperlukan penyetelan *relay* yang sangat akurat agar *relay* dapat memproteksi peralatan - peralatan listrik yang lain dari arus hubung singkat maupun beban lebih. Besarnya arus hubung singkat yang terjadi pada penyulang Padang Sambian yang disimulasikan terjadi pada presentase panjang penyulang 0% - 100% digunakan untuk menghitung nilai *setting relay*.

## 2. KAJIAN PUSTAKA

### A. Perhitungan Arus Gangguan Hubung Singkat

Gangguan hubung singkat yang mungkin terjadi dalam sistem kelistrikan [2]:

- Gangguan hubung singkat 3 fasa
- Gangguan hubung singkat 2 fasa
- Gangguan hubung singkat 1 fasa ketanah

Persamaan yang digunakan untuk menghitung arus gangguan hubung singkat 3 fasa, 2 fasa, dan 1 fasa ketanah [3].

- Gangguan hubung singkat 3 fasa:

$$I_{3\phi(20)} = \frac{V_p}{Z_{1eq}} \quad (1)$$

- Gangguan hubung singkat 2 fasa:

$$I_{2\phi(20)} = \frac{V_p}{Z_{1eq} + Z_{2eq}} \quad (2)$$

- Gangguan hubung singkat 1 fasa ketanah:

$$I_{1\phi(20)} = \frac{3 \times V_p}{Z_{1eq} + Z_{2eq} + Z_{3eq}} \quad (3)$$

Keterangan:

$I_{3\phi(20)}$  adalah Arus hubung singkat 3 fasa di sisi 20 kV (A)

$I_{2\phi(20)}$  adalah arus hubung singkat 2 fasa di sisi 20 kV (A)

$I_{1\phi(20)}$  adalah arus hubung singkat 1 fasa ke tanah disisi 20 kV (A)

$Z_{eq1}$  adalah impedansi ekivalen penyulang urutan positif (*Ohm*)

$Z_{eq2}$  adalah impedansi ekivalen penyulang urutan negatif (*Ohm*)

$Z_{eq3}$  adalah impedansi ekivalen penyulang urutan nol (*Ohm*)

$V_p$  adalah tegangan nominal sistem 20 kV (V)

Perhitungan Impedansi sumber dengan Persamaan (5), impedansi trafo dengan persamaan (6) dan impedansi penyulang dengan Persamaan (9) (10) dilakukan untuk mendapatkan besarnya arus gangguan hubung singkat yang terjadi pada penyulang [4].

- Impedansi Sumber:

$$Z_{s150kV} = \frac{kV_p^2}{MVA_{hs}} \quad (4)$$

$$Z_{s20kV} = \frac{kV_s^2}{kV_p^2} \times Z_{s150kV} \quad (5)$$

Keterangan:

$kV_s$  adalah tegangan sisi sekunder (V)

$kV_p$  adalah tegangan sisi primer (V)

$Z_{s150kV}$  adalah impedansi sumber (*Ohm*)

$Z_{s20kV}$  adalah Impedansi sisi 20 kV (*Ohm*)

- Impedansi trafo:

$$Z_{tr} = \frac{V_s^2 Z_t}{1000} \quad (6)$$

Keterangan:

$V_s$  adalah tegangan nominal sisi sekunder (V)

S adalah daya trafo (VA)

$Z_t$  adalah impedansi (*Ohm*)

$Z_{tr}$  adalah impedansi sisi trafo (*Ohm*)

- Impedansi penyulang

Pada perhitungan impedansi penyulang dihitung impedansi urutan positif, negatif dan nol, sebagai berikut:

- Impedansi penyulang urutan positif dan negatif

$$Z_1 = \text{Panjang penyulang} \times Z_{p1} \quad (7)$$

$$Z_1 = Z_2$$

- Impedansi penyulang urutan nol

$$Z_0 = \text{Panjang penyulang} \times Z_{p0} \quad (8)$$

## I.

- c. Impedansi ekivalen jaringan urutan positif dan negatif

$$Z_{1eq} = Z_{sumber} + Z_{1T} + Z_{1penyulang} \quad (9)$$

$$Z_{1eq} = Z_{2eq}$$

- d. Impedansi ekivalen jaringan urutan nol

$$Z_{0eq} = Z_{0T} + 3R_N + Z_{0penyulang} \quad (10)$$

Keterangan:

$Z_1$  adalah impedansi urutan positif (*Ohm*)

$Z_2$  adalah impedansi urutan negatif (*Ohm*)

$Z_0$  adalah impedansi urutan nol (*Ohm*)

$Z_{1T}$  adalah impedansi urutan positif trafo (*Ohm*)

$Z_{0T}$  adalah impedansi urutan nol trafo (*Ohm*)

$Z_{1eq}$  adalah impedansi ekivalen jaringan urutan positif (*Ohm*)

$Z_{2eq}$  adalah impedansi ekivalen jaringan urutan negatif (*Ohm*)

$Z_{0eq}$  adalah impedansi ekivalen jaringan urutan nol (*Ohm*)

$R_N$  adalah resistansi (*Ohm*)

$Z_{1penyulang}$  adalah impedansi urutan positif penyulang (*Ohm*)

$Z_{0penyulang}$  adalah impedansi urutan nol penyulang (*Ohm*)

$Z_{sumber}$  adalah impedansi Sumber (*Ohm*)

## B. Over Current Relay (OCR)

OCR mendeteksi adanya hubung singkat antar fasa yang berada dalam wilayah proteksinya serta merupakan proteksi cadangan pada transformator daya [5]. OCR tidak boleh bekerja pada keadaan beban maksimum. Arus nominal dari *current transformer* merupakan arus maksimumnya sehingga penyetelan arusnya adalah [6]:

$$I_{setP} = 1,05 \times I_{nominal \ trafo} \quad (11)$$

$$I_{setS} = I_{setP} \times 1/Rasio \ CT \quad (12)$$

Keterangan :

$I_{setP}$  adalah setelan arus primer (A)

$I_{setS}$  adalah etelan arus sekunder (A)

Rasio CT adalah rasio transformator arus (A)

$I_{nominal \ trafo}$  adalah arus nominal trafo (A)

Hasil perhitungan arus gangguan hubung singkat, selanjutnya digunakan untuk menentukan nilai setelan waktu (TMS). Berikut adalah persamaan untuk menghitung TMS [6] :

$$t = \frac{\alpha \times TMS}{\left[ \frac{I_{fault}}{I_{set}} \right]^{\beta} - 1} \quad (13)$$

Keterangan:

TMS adalah *time multiple setting*

$t$  adalah waktu kerja *relay* (s)

$I_{fault}$  adalah arus gangguan (A)

$\alpha \beta$  adalah konstanta jenis karakteristik *relay standart inverse*

## C. Ground Fault Relay (GFR)

GFR pada dasarnya memiliki prinsip kerja yang sama dengan OCR. GFR digunakan untuk mendeteksi adanya hubung singkat satu fasa ke tanah. Berikut adalah persamaan untuk menghitung *setting* arus GFR pada sisi primer [6]:

$$I_{setP} = 6\% \text{ s/d } 12\% \times I_{hs \ terkecil} \quad (14)$$

Berikut adalah persamaan untuk menghitung *setting* arus GFR pada sisi sekunder [6]:

$$I_{setS} = \frac{I_{setP}}{Rasio \ CT} \quad (15)$$

Keterangan:

$I_{setP}$  adalah setelan arus primer (A)

$I_{setS}$  adalah setelan arus sekunder (A)

Rasio CT adalah rasio transformator arus (A)

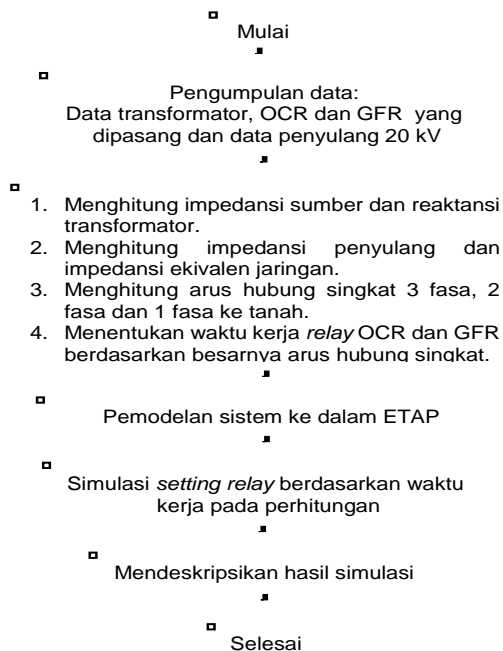
$I_{hs \ terkecil}$  adalah Arus Hubung singkat terkecil

Pada penyetelan *relay* TMS GFR sisi *incoming* dan *outgoing*, arus gangguan yang digunakan adalah arus hubung singkat 1 fasa ketanah. Perhitungan TMS *relay* GFR menggunakan Persamaan (13).

## 3. METODE PENELITIAN

Metode penelitian yang digunakan dalam analisis penelitian ini dapat dilihat pada bagan berikut ini:

## I.



Gambar 1. Bagan alur penelitian

#### 4. HASIL ANALISIS DAN PEMBAHASAN

##### A. Perhitungan Arus Hubung Singkat

Impedansi sumber 150 kV dihitung dari Persamaan (4):

$$Z_{150kV} = \frac{150^2}{3022.34} \\ = 7.44 \text{ Ohm}$$

Impedansi sumber 20 kV dihitung dari Persamaan (5):

$$Z_{s20kV} = \frac{20^2}{150^2} \times 7,44 \\ = 0,132 \text{ Ohm}$$

Reaktansi trafo dihitung dari Persamaan (6):

$$Z_{tr} = \frac{20^2 \times 11,9\%}{60} \\ = 0,793 \text{ Ohm}$$

Impedansi penyulang Padang Sambian urutan positif dan negatif dihitung dari Persamaan (7):

$$Z_{1\text{penyulang}} = Z_{2\text{penyulang}} \\ = 2,4148 + j3,6949 + 1,3657 + j0,5547 \\ = 2,7805 + j4,2496 \text{ Ohm}$$

Impedansi penyulang Padang Sambian urutan nol dihitung dari Persamaan (8):

$$Z_{0\text{Penyulang}} = 4,0583 + j18,089 + 1,0972 + j1,386 \\ = 5,1555 + j19,4752 \text{ Ohm}$$

Impedansi ekivalen jaringan urutan positif dan negatif diansumsikan gangguan terjadi di presentase panjang penyulang 5%, dihitung dari Persamaan (9):

$$Z_{1eq} = Z_{2eq} \\ Z_{1eq} = j0,312 + j0,793 + 0,139 + j0,212 \\ = 0,139 + j1,137 \text{ Ohm}$$

Impedansi ekivalen jaringan urutan nol diansumsikan gangguan di presentase panjang penyulang 5%, dihitung dari Persamaan (10):

$$Z_{0eq} = j7,93 + 3 \times 40 + 0,258 + j0,974 \\ = 120,258 + j8,904 \text{ Ohm}$$

Arus gangguan hubung singkat 3 fasa diansumsikan terjadi di presentase panjang penyulang 5%, dihitung dari Persamaan (1):

$$I_{3\phi(20)} = \frac{20000}{\frac{\sqrt{3}}{0,139 + j1,137}} \\ = \frac{11,547}{0,139 + j1,137} \\ = \frac{11,547}{\sqrt{0,139^2 + 1,137^2}} \\ = 10070,27 \text{ A}$$

Arus gangguan hubung singkat 2 fasa diansumsikan terjadi di presentase panjang penyulang 5%, dihitung dari Persamaan (2):

$$I_{2\phi(20)} = \frac{20000}{2 \times (0,139 + j1,137)} \\ = \frac{20000}{0,278 + j2,274} \\ = \frac{20000}{\sqrt{0,278^2 + 2,274^2}}$$

I.

$$= 8721,11 \text{ A}$$

Arus gangguan hubung singkat 1 fasa ketanah di ansumsikan terjadi di presentase panjang penyulang 5%, dihitung dari Persamaan (3):

$$\begin{aligned} I_{1\phi(20)} &= \frac{3 \times 20000}{\sqrt{3} \cdot 2x(0,139 + j1,137) + 120,258 + j8,904} \\ &= \frac{34641,016}{120,536 + j11,178} \\ &= \frac{34641,016}{\sqrt{120,536^2 + 11,178^2}} \\ &= 286,16 \text{ A} \end{aligned}$$

Hasil perhitungan arus gangguan hubung singkat 3 fasa, 2 fasa dan 1 fasa ke tanah yang telah didapat, digunakan untuk perhitungan penyetelan relay OCR dan relay GFR pada sisi *outgoing* dan sisi *incoming*. Berikut diperlihatkan secara lengkap hasil perhitungan arus hubung singkat 3 fasa, 2 fasa dan 1 fasa ke tanah yang diansumsikan terjadi ditiap kelipatan 5% panjang penyulang.

**Tabel 1.** Arus Hubung Singkat 3 Fasa, 2 Fasa dan 1 Fasa Ke Tanah Hasil Perhitungan

Presentase Panjang Penyulang (%)	$I_{1\phi3\text{fasa}}$ (A)	$I_{1\phi2\text{fasa}}$ (A)	$I_{1\phi1\text{fasa}}$ (A)
0	12474,07	10802,86	287,72
5	10070,27	8721,11	286,16
10	8373,29	7251,49	284,59
15	7136,94	6180,77	282,99
20	6205,34	5373,98	281,39
25	5482,04	4747,58	279,76
30	4906,00	4248,72	278,13
35	4437,31	3842,82	276,48
40	4049,02	3506,55	274,83
45	3722,35	3223,65	273,16
50	3443,88	2982,48	271,49
55	3203,78	2774,55	269,81
60	2994,70	2593,48	268,13
65	2811,04	2434,43	266,44
70	2648,46	2293,63	264,75
75	2503,54	2168,13	263,06

80	2373,59	2055,58	261,36
85	2256,39	1954,09	259,67
90	2150,17	1862,10	257,97
95	2053,46	1778,35	256,28
100	1965,05	1701,78	254,59

Pada Tabel 1 dapat dilihat bahwa arus hubung singkat terbesar yang timbul pada gangguan hubung singkat 3 fasa, 2 fasa maupun 1 fasa ketanah terjadi pada presentase panjang penyulang 0% atau pangkal penyulang, sedangkan terkecil pada presentase panjang penyulang 100% atau ujung penyulang. Nilai dari impedansi sistem mempengaruhi arus hubung singkat.

**B. Setting OCR dan GFR**

Pada penyetelan relay OCR sisi *incoming* 20 kV ada dua jenis nilai *setting* yang akan dihitung, nilai *setting* arus dan nilai *time multiplier setting* (TMS) relay.

1. *Setting* OCR sisi *incoming* 20 kV

*Setting* arus OCR dihitung dari Persamaan (11):

$$\begin{aligned} I_{set \text{ sekunder}} &= 1816,6 \times \frac{1}{2000} \\ &= 0,91 \text{ A} \end{aligned}$$

*Setting* TMS OCR dihitung dari Persamaan (13):

$$0,7 = \frac{0,14 \times tms}{\left[ \frac{12474,07}{1818,6} \right]^{0,02} - 1}$$

$$Tms = 0,2 \text{ SI}$$

2. *Setting* GFR sisi *Incoming* 20 kV

*Setting* arus GFR dihitung dari Persamaan (15):

$$\begin{aligned} I_{set \text{ sekunder}} &= \frac{20,36}{1/2000} \\ &= 0,01 \text{ A} \end{aligned}$$

*Setting* TMS GFR dihitung dari Persamaan (13):

$$0,7 = \frac{0,14 \times tms}{\left[ \frac{287,72}{20,36} \right]^{0,02} - 1}$$

$$Tms = 0,27 \text{ SI}$$



I.

3. *Setting* OCR sisi *outgoing* 20 kV  
*Setting* arus OCR dihitung dari Persamaan (11) :

$$I_{set\ sekunder} = 330,008 \times \frac{1}{800/5}$$

$$= 2,063 \text{ A}$$

*Setting* TMS OCR dihitung dari Persamaan (11):

$$0,3 = \frac{0,14 \times tms}{\left[ \frac{12474,07}{330,088} \right]^{0,02} - 1}$$

$$Tms = 0,161 \text{ SI}$$

4. *Setting* GFR sisi *outgoing* 20 kV  
*Setting* arus GFR dihitung dari Persamaan (15):

$$I_{set\ sekunder} = 25,46 \times \frac{1}{800/5}$$

$$= 0,16 \text{ A}$$

*Setting* TMS GFR dihitung dari Persamaan (13):

$$0,3 = \frac{0,14 \times tms}{\left[ \frac{287,72}{25,46} \right]^{0,02} - 1}$$

$$Tms = 0,106 \text{ SI}$$

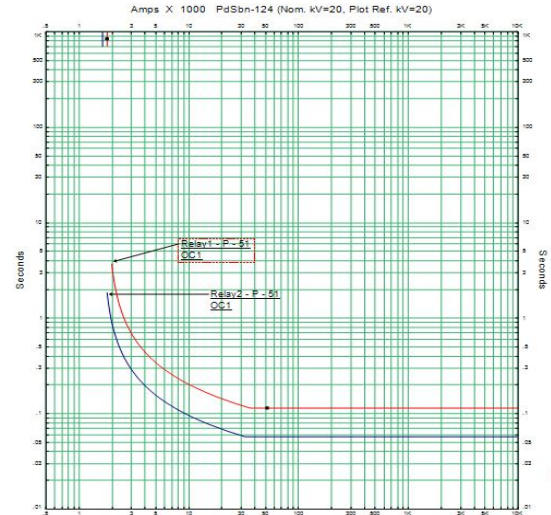
Hasil perhitungan *setting* relay OCR dan relay GFR dengan *setting* standar *inverse time* diperlihatkan pada Tabel 2.

.Tabel 2. Hasil perhitungan *setting* OCR dan GFR

Relay	Hasil Perhitungan	
OCR (incoming)	TMS (SI)	0,2
	t (s)	0,7
	I set (A)	0,91
GFR (incoming)	TMS (SI)	0,27
	t (s)	0,7
	I set (A)	0,01
OCR (Outgoing)	TMS (SI)	0,161
	t (s)	0,3
	I set (A)	2,063
GFR (Outgoing)	TMS (SI)	0,106
	t (s)	0,3
	I set (A)	0,16

Dari hasil perhitungan *setting* OCR dan GFR yang terdapat pada Tabel 2, dapat dilakukan simulasi koordinasi relay dengan menggunakan *star-protective device*

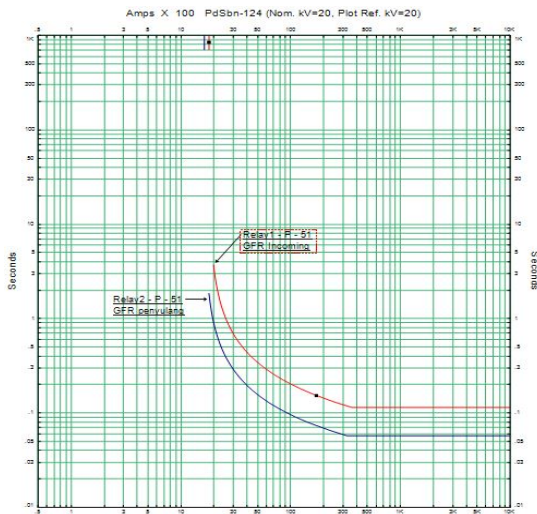
*coordination* pada ETAP software. Setelah semua hasil *setting* diatas dimasukan kedalam ETAP, maka simulasi sudah bisa dijalankan dan menghasilkan kurva koordinasi relay karakteristik arus terhadap waktu (TCC) seperti pada Gambar 2 dan Gambar 3 berikut ini:



Gambar 2. Kurva Koordinasi OCR Karakteristik Arus Terhadap Waktu (TCC)

Pada Gambar 2 dapat dilihat bahwa kurva warna merah menunjukkan OCR pada sisi *incoming* dan kurva warna biru menunjukkan OCR pada sisi *outgoing*. Pada simulasi diberikan arus gangguan hubung singkat 3 fasa pada penyulang sehingga dapat dilihat pada kurva koordinasi karakteristik waktu terhadap arus (*time curve current*) yang akan terlebih dahulu bekerja adalah OCR sisi *outgoing* dibandingkan OCR di sisi *incoming*. Hal tersebut menunjukkan bahwa *setting* koordinasi relay OCR telah berjalan dengan baik sesuai dengan standar kepekaan, kecepatan dan selektifitas relay.

I.



**Gambar 3.** Kurva Koordinasi GFR Karakteristik Arus Terhadap Waktu (TCC)

Pada Gambar 3 dapat dilihat bahwa kurva warna merah menunjukkan GFR pada sisi *incoming* dan kurva warna biru menunjukkan GFR pada sisi *outgoing*. Pada simulasi diberikan gangguan 1 fasa ke tanah pada penyulang sehingga dapat dilihat pada kurva koordinasi karakteristik waktu terhadap arus (*time curve current*) yang akan terlebih dahulu bekerja adalah GFR sisi *outgoing* (biru) dibandingkan GFR sisi *incoming* (merah).

Hal tersebut menunjukkan bahwa *setting* koordinasi *relay* GFR telah berjalan dengan baik sesuai dengan standar kepekaan, kecepatan dan selektivitas *relay*.

## 5. SIMPULAN

Berdasarkan hasil analisis yang telah dilakukan, maka dapat disimpulkan bahwa nilai *setting* arus OCR pada sisi *incoming* sebesar 1818,6 A (primer) / 0,91 A (sekunder) dan OCR pada sisi *outgoing* sebesar 330,088 A (primer) / 2,063 A (sekunder). Nilai *setting*

arus untuk GFR pada sisi *incoming* sebesar 20,36 A (primer) / 0,01 A (sekunder) dan nilai *setting* arus untuk GFR pada sisi *outgoing* sebesar 25,46 A (primer) / 0,16 A (sekunder). Penyetelan OCR pada sisi *incoming* didapat nilai TMS sebesar 0,2 SI dan OCR. Pada sisi *outgoing* TMS sebesar 0,161 SI. Penyetelan GFR pada sisi *incoming* didapat nilai TMS sebesar 0,27 SI dan GFR pada sisi *outgoing* didapat nilai TMS sebesar 0,106 SI. Waktu kerja *relay* pada sisi *outgoing* lebih cepat dibandingkan dengan waktu kerja *relay* sisi *incoming* karena *relay* sisi *incoming* berfungsi sebagai *back up* dari *relay* pada sisi *outgoing* sehingga bisa mengamankan gangguan di sisi penyulang.

## 6. DAFTAR PUSTAKA

- [1] Satya, U.N.P., *Prakiraan Kebutuhan Tenaga Listrik Propinsi Bali Sampai Tahun 2018 Dengan Metode Regresi Berganda Deret Waktu*. Teknologi Elektro. 2007; 6(1)
- [2] Hermansyah. MT. Rasiman. *Analisa Arus Gangguan Hubung Singkat Pada Incoming 20 kV Transformator 3 Gardu Induk Cibinong*. Bogor: Universitas Ibn Khaldun Bogor. 2011.
- [3] Stevenson, Jr William D, *Analisis Sistem Tenaga Listrik*, Edisi keempat, Jakarta Pusat: Erlangga, 1984.
- [4] Saadat, Hadi, *Power System Analysis*, Singapore: Mc. Graw Hill Book Company. 1999.
- [5] PT. PLN (Persero). *Proteksi dan Kontrol Transformator*. Kebayoran Baru, Jakarta: .2014
- [6] PT. PLN (Persero) APD Bali. *Proteksi PLN APD Bali*. Denpasar: 2015