

STUDI PROTEKSI *DOUBLE BUSBAR* AKIBAT PENAMBAHAN TRANSFORMATOR DI GARDU INDUK PEMECUTAN KELOD

I Kadek Rogan Bayu Candra Dwipa¹, I Gede Dyana Arjana², Cok Gede Indra Partha³
Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Udayana
Email : candradwipa96@gmail.com¹, dyanaarjana@unud.ac.id²,
cokindra@unud.ac.id³

Abstract

Pemecutan Kelod Substation operated with four conductors, three transformers, one capacitor and one coupling with double busbar configuration, side by side with the Kapal and Pesanggaran substation to maintain electricity supply in Kuta, Legian, Seminyak, Denpasar City and surrounding areas. Due to increase in load in Denpasar area, PT PLN (Persero) Trans-JBJT added one transformer to improve the reliability of electricity in this substation, so Pemecutan Kelod substation operated with four transformers. To optimize the continuity of the power flow, it is necessary to analyse the relay settings on the busbar current and the appropriate protection settings as a protection system reference. In this study, the calculation of resistor stability (R_{stab}) of input current and output current after and before the addition of the transformer is carried out. The results of the calculation of resistor stability (R_{stab}) before the addition of the transformer is obtained with a total of 5.12 Ω , the input current is 1030 A and the output current is 1010 A with losses of 1.9%. While the results of the calculation of resistor stability (R_{stab}) after the addition of the transformer is obtained with a total of 5.64 Ω , the input current is 1070 A and the output current is 1060 A with losses of 0.9%. Those losses values complied with the SPLN No.1: 1987 standard for the 150 kV system.

Keywords : Double Busbar, Resistor Stability, Protection System, Losses

Abstrak

Gardu Induk Pemecutan Kelod beroperasi dengan empat penghantar, tiga transformator, satu kapasitor dan satu kopel dengan konfigurasi *double busbar*, berdampingan dengan gardu induk Kapal dan Pesanggaran menjaga pasokan listrik di wilayah Kuta, Legian, Seminyak, Denpasar Kota dan sekitarnya. Akibat kenaikan beban di wilayah Denpasar, PT PLN (Persero) Trans-JBJT menambah satu transformator untuk meningkatkan keandalan listrik di gardu induk ini, sehingga gardu induk Pemecutan Kelod beroperasi dengan empat transformator. Untuk mengoptimalkan kontinuitas dari aliran daya, maka diperlukan analisis *setting* rele pada arus busbar serta *setting* proteksi yang sesuai sebagai acuan sistem proteksi. Dalam studi ini, dilakukan perhitungan stabilitas resistor (R_{stab}) arus *input* dan arus *output* sesudah dan sebelum penambahan transformator dilakukan. Hasil perhitungan stabilitas resistor (R_{stab}) sebelum penambahan transformator diperoleh dengan total 5,12 Ω , arus *input* sebesar 1030 A dan arus *output* sebesar 1010 A dengan *losses* sebesar 1,9%. Sedangkan hasil perhitungan stabilitas resistor (R_{stab}) sesudah penambahan transformator diperoleh dengan diperoleh dengan total 5,64 Ω , arus input sebesar 1070 A dan arus output sebesar 1060 A dengan *losses* sebesar 0,9%. *Losses* tersebut sesuai dengan standar SPLN No.1:1987 untuk sistem 150 kV.

Kata Kunci : Double Busbar, Stabilitas Resistor, Sistem Proteksi, Losses

1. PENDAHULUAN

Pengaman busbar merupakan suatu sistem proteksi yang berperan penting dalam mengamankan gangguan yang terjadi di busbar itu sendiri [1]. Gardu Induk merupakan sub sistem dari sistem penyaluran tenaga listrik [2]. Gardu Induk Pemecutan Kelod beroperasi dengan empat bay penghantar, tiga bay trafo, satu bay kapasitor dan satu bay kopel dengan konfigurasi *double busbar*, berdampingan dengan gardu induk Kapal dan Pesanggaran menjaga pasokan listrik di wilayah Kuta, Legian, Seminyak, Denpasar Kota dan sekitarnya. Atas dasar kenaikan beban di wilayah Denpasar, PT PLN (Persero) Trans-JBJT akan menambah satu bay transformator untuk meningkatkan keandalan listrik di gardu induk ini, sehingga gardu induk Pemecutan Kelod akan beroperasi dengan empat bay trafo.

Penambahan bay trafo ini akan berdampak pada konfigurasi gardu induk dan konfigurasi sistem proteksi busbar atau yang disebut *busbar protection*. Jika salah satu busbar mengalami gangguan dan tidak ada rele proteksi yang mengamankan busbar tersebut, akan mengakibatkan kontinuitas aliran daya terganggu sehingga arus input dan arus output tidak seimbang.

2. SISTEM PROTEKSI

2.1 Sistem Proteksi Busbar

Merupakan suatu sistem proteksi yang berperan penting dalam mengamankan gangguan yang terjadi pada busbar, yang meliputi: trafo arus (CT) / trafo tegangan (PT), rele proteksi, pemutus tenaga (PMT), catu daya dan rangkaian pengawatan [3]. Prinsip kerjanya pada saat kondisi sistem normal atau terjadi gangguan di luar zona Busbar, tidak ada resultan arus yang mengalir ke rele busbar sehingga rele tidak bekerja.

$$I_1 + I_2 + I_3 + I_4 + I_n = 0 \dots\dots\dots(2.1)$$

Apabila terjadi gangguan di dalam zona Busbar, maka akan timbul resultan arus yang besar dan mengalir ke rele busbar sehingga rele bekerja. Namun, untuk gangguan yang terjadi di luar zona proteksi busbar tidak boleh bekerja (rele harus stabil). [2]

$$I_1 + I_2 + I_3 + I_4 + I_n = I_d \neq 0 \dots\dots\dots(2.2)$$

2.2 Prinsip dasar perhitungan *setting* arus rele pengaman

Sebagai dasar pertimbangan untuk menghitung *setting* arus rele adalah dengan memperhatikan dua faktor yaitu arus kerja dan arus kembali. Arus kerja (arus *pick up* = I_p) adalah nilai arus yang mengalir ketika rele arus lebih bekerja dan menutup kontak. Sedangkan arus kembali (arus *drop off* = I_d) adalah nilai arus yang mengalir pada rele dan menyebabkan rele arus lebih berhenti bekerja [4]. Suatu harga perbandingan antara besarnya arus *drop off* dan arus *pick up* biasanya dinyatakan dengan notasi K_d , sehingga:

$$K_d = \frac{I_d}{I_p} \dots\dots\dots (2.3)$$

Keterangan: K_d : Faktor arus kembali

I_d : Arus kembali (arus *drop off*)

I_p : Arus kerja (arus *pick up*)

Rele tidak boleh bekerja pada keadaan beban maksimum. Dalam beberapa hal, arus nominal pada trafo arus (CT) merupakan arus maksimumnya, sehingga penyetelan arus menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$I_{out} = \frac{K_{fk} \times I_{in}}{CT} \times CT \dots\dots\dots (2.4)$$

Keterangan :

I_{out} : Arus Keluar

K_{fk} : Faktor keamanan, mempunyai nilai 1,25

2.3 Prinsip Dasar Perhitungan *Setting* Proteksi Busbar

Sebagai dasar pertimbangan untuk menghitung *setting* proteksi busbar ini mengacu pada instruksi manual yang terkasit dengan jenis dan karakteristik rele tersebut. Sehingga untuk mencari tegangan kerja (VR) dapat dihitung dengan menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$VR = \frac{IF}{CT_{ratio}} (R_{CT} + 2 \times RL + R_r) \dots\dots\dots (2.5)$$

Keterangan:

VR : Tegangan Kerja

IF : Arus hubung singkat maksimal

R_{CT} : Tahanan dalam CT

RL : Tahanan kabel kontrol

R_r : Tahanan dalam rele

Tegangan kerja (VR) merupakan tegangan pada terminal rele akibat arus sekunder yang mengalir pada rangkaian

sekunder CT pada saat terjadi gangguan hubung singkat pada busbar, dimana tegangan *setting* (VS) harus lebih besar dari pada tegangan kerja VS > VR. [5] Untuk mencari arus *setting* arus kerja dipilih antara 2% - 10% rating busbar, berdasarkan rating gardu induk dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut:

$$I_{set} = 0,2 \times I_n \dots \dots \dots (2.6)$$

2.4 Stabilizing Resistor

Stabilizing resistor berfungsi menjaga kestabilan sistem proteksi busbar saat gangguan eksternal yang sangat besar sedangkan metrosil adalah peralatan yang berfungsi untuk melindungi rele dari kenaikan tegangan yang cukup tinggi saat terjadi gangguan pada busbar. [5] Untuk mencari stabilitas resistor (Rs) dapat dihitung dengan menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$R_{stab} = \frac{1}{I_{set}} \left(VS - \frac{VA}{I_{set}} \right) \dots \dots \dots (2.7)$$

Keterangan:

- R_{stab} : Stabilitas resistor
- I_{set} : Arus kerja
- VS : Tegangan *setting*

2.5 Over Current Relay (OCR)

Over current relay bekerja ketika ada hubung singkat yang berdampak pada kenaikan arus, oleh karena itu disebut relai arus lebih. Relai arus lebih yang ada sekarang memiliki 2 kemampuan yaitu sebagai relai arus lebih (Over Current Relay) dan relai gangguan tanah (Ground Fault Relay). [6] Relai arus lebih dapat dikoordinasikan dengan relai lain atau dengan GFR dengan memberikan tunda waktu yang sebenarnya merupakan inti dari setelan relai selain juga perhitungan setelan arus. [7]

Untuk menentukan hasil perhitungan *setting* proteksi kopel ini mengacu pada instruksi manual yang terkait dengan jenis dan karakteristik relai tersebut. Sehingga untuk mencari arus kerja pada *setting* proteksi OCR (*Over Current Relay*) dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut :

$$I_{set} = 1,2 \times I_n \dots \dots \dots (8)$$

Waktu tunda untuk kopel adalah 1,5 detik jika terjadi gangguan penghantar dekat busbar maka relai penghantar diberi

kesempatan terlebih dahulu. *Time dial* (Td) untuk kurva standar inverse diperoleh dengan persamaan sebagai berikut :

$$T_d = \frac{\left(\frac{I_{hs}}{I_{set}} \right)^{0,02} - 1}{0,14} t \dots \dots \dots (9)$$

Keterangan:

- T_d : *Time Dial*
- I_{hs} : arus gangguan relay 3-fasa
- I_{set} : Arus *Setting*
- t : Waktu

2.6 Ground Fault Relay (GFR)

Ground fault relay merupakan relai arus lebih. Jadi relai *ground fault relay* bertugas untuk mengamankan gangguan hubung singkat fasa ke tanah. FYI, arus gangguan fasa ke tanah dipengaruhi oleh pentanahan sistem, artinya dipengaruhi oleh besarnya impedansi pentanahan titik netral transformator daya yang mensupply. [8]

Untuk menentukan hasil perhitungan *setting* proteksi kopel ini mengacu pada instruksi manual yang terkait dengan jenis dan karakteristik relai tersebut. Sehingga untuk mencari arus kerja pada *setting* proteksi GFR (*Ground Fault Relay*) dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut :

$$I_{setg} = 1,2 \times I_n \dots \dots \dots (10)$$

Waktu tunda untuk kopel adalah 1,5 detik jika terjadi gangguan penghantar dekat busbar maka relai penghantar diberi kesempatan terlebih dahulu. *Time dial* (Td) untuk kurva standar inverse diperoleh dengan persamaan sebagai berikut :

$$T_d = \frac{\left(\frac{I_{hs1fs}}{I_{setg}} \right)^{0,02} - 1}{0,14} t_g \dots \dots \dots (11)$$

Keterangan:

- T_d : *Time Dial*
- I_{hs1fs} : arus gangguan relay 1-fasa
- I_{setg} : Arus *Setting ground*
- t_g : Waktu *ground*

3 METODE PENELITIAN

Penelitian dilakukan di Gardu Induk Pemecutan Kelod dimulai pada bulan Juli 2018 sampai selesai. Sumber data dalam pembahasan berupa data sekunder yang diperoleh diperoleh dari PT. PLN (Persero) UPT Bali. Jenis data yang digunakan adalah data single line sub sistem bali, data single line diagram Gardu Induk Pemecutan Kelod, data busbar 150 kV, data transformator Gardu Induk Pemecutan Kelod, dan data

arus hubung singkat di Gardu Induk Pemecutan Kelod yang Terkait pengaman pada busbar di Gardu Induk Pemecutan Kelod.

Alur analisis yang digunakan dalam penelitian ini adalah:

1. Pengumpulan data-data teknis seperti trafo arus, single line diagram, *setting* relai dan data busbar pada system proteksi di Gardu Induk Pemecutan Kelod.
2. Menggambarkan *single line* diagram pada *software* DigSILENT PowerFactory sesuai dengan data system busbar di Gardu Induk Pemecutan Kelod
3. Menghitung arus gangguan total pada relai pengaman busbar.
4. Menghitung *setting* arus dan RStabilizer pada sistem busbar di Gardu Induk Pemecutan Kelod
5. Menghitung relai OCR (*Over Current Relay*) dan GFR (*Ground Fault Relay*) di Gardu Induk Pemecutan Kelod.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Perhitungan *Setting* Relai pada Arus Busbar

Bedasarkan data arus pada busbar di gardu induk Pemecutan Kelod dapat dilihat arus masuk dan arus keluar dapat dilihat pada tabel sebagai berikut :

Tabel 1. Data arus pada busbar sebelum penambahan transformator saat kondisi normal

NO	Komponen Busbar	I_{in} (Ampere)	I_{out} (Ampere)
1	Kapal 1 – Pemecutan Kelod	520	-
2	Kapal 2 – Pemecutan Kelod	510	-
3	Pemecutan Kelod - Pesanggaran	-	460
4	Pemecutan Kelod – Bandara	-	370
5	Trafo 1	-	40
6	Trafo 2	-	50
7	Trafo 3	-	90
Total		1030	1010

Tabel 2. Data arus pada busbar sesudah penambahan transformator saat kondisi normal

NO	Komponen Busbar	I_{in} (Ampere)	I_{out} (Ampere)
1	Kapal 1 – Pemecutan Kelod	540	-
2	Kapal 2 – Pemecutan Kelod	530	-
3	Pemecutan Kelod - Pesanggaran	-	440
4	Pemecutan Kelod – Bandara	-	370
5	Trafo 1	-	30
6	Trafo 2	-	50
7	Trafo 3	-	90
8	Trafo 4	-	80
Total		1070	1060

Bedasarkan data arus pada busbar di Gardu Induk Pemecutan Kelod untuk mencari arus keluar pada saat terjadi gangguan dapat dihitung dengan menggunakan persamaan sebagai berikut: Perhitungan arus keluar pada saluran transmisi Kapal 1 – Pemecutan Kelod :

K_{fk} : Faktor keamanan, mempunyai nilai 1,1 – 1,25

I_{in} : 520 A

CT: 1600/1

Mengacu pada persamaan (2.5)

$$I_{out} = \frac{K_{fk} \times I_{in}}{CT} \times CT$$

$$I_{out} = \frac{1,25 \times 520}{\frac{1600}{1}} \times \frac{1600}{1}$$

$$I_{out} = 650 \text{ A}$$

Dari hasil perhitungan diatas diperoleh *setting* arus keluar dengan sebesar 650 A, dengan cara yang sama untuk mencari *setting* arus keluar saat terjadi gangguan pada saluran transmisi yang terhubung pada gardu induk Pemecutan Kelod dapat dilihat pada tabel sebagai berikut:

Tabel 3. Hasil perhitungan *setting* arus keluar sebelum penambahan transformator pada saat terjadi gangguan

NO	Komponen Busbar	I _{in} (Ampere)	I _{out} (Ampere)	Arus Gangguan
1	Kapal 1 – Pemecutan Kelod	520	-	650
2	Kapal 2 – Pemecutan Kelod	510	-	637,5
3	Pemecutan Kelod - Pesanggaran	-	460	575
4	Pemecutan Kelod – Bandara	-	370	462,5
5	Trafo 1	-	40	37,5
6	Trafo 2	-	50	62,5
7	Trafo 3	-	90	112,5
Total		1030	1010	2537,5

Tabel 4. Hasil perhitungan *setting* arus keluar sesudah penambahan transformator pada saat terjadi gangguan

NO	Komponen Busbar	I _{in} (Ampere)	I _{out} (Ampere)	Arus Gangguan
1	Kapal 1 – Pemecutan Kelod	540	-	675
2	Kapal 2 – Pemecutan Kelod	530	-	662,5
3	Pemecutan Kelod - Pesanggaran	-	440	550
4	Pemecutan Kelod – Bandara	-	370	462,5
5	Trafo 1	-	30	37,5
6	Trafo 2	-	50	62,5
7	Trafo 3	-	90	112,5
8	Trafo 4	-	80	100
Total		1070	1060	2662,5

4.2 Perhitungan *setting* proteksi busbar

Perhitungan *setting* proteksi busbar ini untuk menentukan hasil, mengacu pada instruksi manual yang terkait dengan jenis dan karakteristik relai tersebut, sehingga untuk mencari *setting* proteksi busbar dapat dihitung dengan menggunakan persamaan $VR = \frac{IF}{CTratio} (R_{CT} + 2 \times RL + R_r)$ sehingga di dapat :

Arus hubung singkat maksimal: IF = 12933 A

Rasio CT = 2400/1 A

Tahanan dalam CT : R_{ct} = 15 Ω

Tahanan kabel kontrol : RL = 1 Ω

Tahanan dalam rele : R_r = 0,025 Ω

$$VR = \frac{IF}{CTratio} (R_{CT} + 2 \times RL + R_r)$$

$$VR = \frac{12933}{2400} (15 + 2 \times 1 + 0,025)$$

$$VR = 91,74 \text{ V}$$

$$VS > VR$$

$$VS = VR + (VR \times 5\%)$$

$$VS = 96,32 \text{ V}$$

Dari hasil perhitungan diatas diperoleh tegangan kerja (VR) dengan hasil 91,74 V, dimana tegangan *setting* harus lebih besar dari tegangan kerja VS > VR, sehingga diperoleh tegangan *setting* (VS) dengan hasil 96,32 V. Untuk mencari arus kerja (I_{set}) dapat dihitung dengan menggunakan persamaan I_{set} = 2% × I_{in} sehingga di dapat: Perhitungan arus kerja untuk saluran transmisi Kapal 1 – Pemecutan Kelod:

$$I_{set} = 0,2 \times I_{in}$$

$$I_{set} = 0,2 \times 586$$

$$I_{set} = 117,2 \text{ A}$$

Dari hasil perhitungan diatas diperoleh arus kerja (I_{set}) dengan hasil 117,2 A, dengan cara yang sama untuk mencari arus kerja (I_{set}) pada saluran transmisi pada gardu Induk Pemecutan Kelod, untuk mencari stabilitas resistor dapat dihitung dengan menggunakan persamaan R_s = $\frac{1}{I_{set}} (VS - \frac{VA}{I_{set}})$ sehingga di dapat :

$$R_{stab} = \frac{1}{I_{set}} (VS - \frac{VA}{I_{set}})$$

$$R_{stab} = \frac{1}{117,2} (96,32 - \frac{150}{117,2})$$

$$R_{stab} = 0,81 \text{ Ω}$$

Dari hasil perhitungan diatas diperoleh stabilitas resistor dengan sebesar 0,81 Ω, dengan cara yang sama untuk mencari stabilitas resistor pada saluran transmisi yang terhubung pada gardu induk Pemecutan Kelod dapat dilihat pada tabel sebagai berikut:

Tabel 5. Hasil perhitungan *setting* proteksi busbar sebelum penambahan transformator.

No.	Lokasi	Tegangan Kerja (VR)	I _{set} (A)	Stabilitas Resistor (Rs) Ω
1	GI Kapal 1 – GI Pemecutan Kelod	96,32	104	0,91
2	GI Kapal 2 – GI Pemecutan Kelod	96,32	102	0,92
3	GI Pemecutan Kelod – GIS Bandara	96,32	92	1,02
4	GI Pemecutan Kelod – GI Pesanggaran	96,32	74	1,27
5	Trafo 1	96,32	32,6	0,39
6	Trafo 2	96,32	23,2	0,54
7	Trafo 3	96,32	29,6	0,43
Total			457,4	5,48

Tabel 6. Hasil perhitungan *setting* proteksi busbar sesudah penambahan transformator.

No.	Lokasi	Tegangan Kerja (VR)	I _{set} (A)	Stabilitas Resistor (Rs) Ω
1	GI Kapal 1 – GI Pemecutan Kelod	96,32	108	0,87
2	GI Kapal 2 – GI Pemecutan Kelod	96,32	106	0,89
3	GI Pemecutan Kelod – GIS Bandara	96,32	88	1,07
4	GI Pemecutan Kelod – GI Pesanggaran	96,32	74	1,27
5	Trafo 1	96,32	19,2	0,39
6	Trafo 2	96,32	22,2	0,54
7	Trafo 3	96,32	24,6	0,43
8	Trafo 4	96,32	21,6	0,52
Total			463,6	5,78

4.3 Perhitungan *setting* proteksi OCR (Over Current Relay)

Untuk menentukan hasil perhitungan *setting* proteksi kopel ini mengacu pada instruksi manual yang terkait dengan jenis dan karakteristik relai tersebut. Sehingga untuk mencari arus kerja pada OCR (*Over Current Relay*) dapat dihitung sebagai berikut:

Perhitungan Arus Kerja trafo 1 :

$$I_{in} = 163 \text{ A}$$

$$I_{set} = 1,2 \times I_{in}$$

$$I_{set} = 1,2 \times 163$$

$$I_{set} = 195,6 \text{ A}$$

Dari hasil perhitungan diatas dipilih *setting* I_{set} (arus kerja) dengan hasil 195,6 A, dengan cara yang sama untuk mencari I_{set} (arus kerja) pada trafo lain di gardu Induk Pemecutan Kelod dapat dilihat pada tabel sebagai berikut :

Tabel 7. Hasil perhitungan *setting* arus kerja sebelum penambahan transformator

No.	Komponen Busbar	I _{set} (A)
1	Trafo 1	195,6
2	Trafo 2	139,2
3	Trafo 3	177,6

Tabel 8. Hasil perhitungan *setting* arus kerja sesudah penambahan transformator

No.	Komponen Busbar	I _{set} (A)
1	Trafo 1	115,2
2	Trafo 2	133,2
3	Trafo 3	147,6
4	Trafo 4	129,6

Waktu tunda untuk kopel adalah 1,5 detik jika terjadi gangguan penghantar dekat busbar maka relai penghantar diberi kesempatan terlebih dahulu. *Time dial* untuk kurva standar inverse diperoleh dengan menggunakan persamaan sebagai berikut :

$$T_d = \frac{\left(\frac{I_{hs} I_{fs}}{I_{setg}}\right)^{0,02} - 1}{0,14} \text{ tg}$$

$$T_d = \frac{\left(\frac{13221}{32,6}\right)^{0,02} - 1}{0,14} 1,5$$

$$T_d = 1,36 \text{ SI}$$

Dari hasil perhitungan diatas diperoleh waktu kerja (Td) dengan hasil 1,36 SI, dengan cara yang sama untuk mencari waktu kerja (Td) pada saluran transmisi pada gardu Induk Pemecutan Kelod dapat dilihat pada tabel sebagai berikut :

Tabel 9. Hasil perhitungan *setting* waktu kerja sebelum penambahan transformator

No.	Komponen Busbar	Td (SI)
1	Trafo 1	0,93
2	Trafo 2	1,01
3	Trafo 3	0,95

Tabel 10. Hasil perhitungan *setting* waktu kerja sesudah penambahan transformator

No.	Komponen Busbar	Td (SI)
1	Trafo 1	1,06
2	Trafo 2	1,02
3	Trafo 3	1,01

4	Trafo 4	1,03
---	---------	------

4.4 Perhitungan *setting* proteksi GFR (*Ground Fault Relay*)

Untuk menentukan hasil perhitungan *setting* proteksi kopel ini mengacu pada instruksi manual yang terkait dengan jenis dan karakteristik relai tersebut. Sehingga untuk mencari arus kerja pada GFR (*Ground Fault Relay*) dapat dihitung sebagai berikut: Perhitungan Arus Kerja trafo 1 :

$$I_{in} = 163 \text{ A}$$

$$I_{setg} = 0,2 \times I_{in}$$

$$I_{setg} = 0,2 \times 163$$

$$I_{setg} = 32,6 \text{ A}$$

Dari hasil perhitungan diatas dipilih *setting* I_{setg} (arus kerja GFR) dengan hasil 32,6 A, dengan cara yang sama untuk mencari I_{setg} (arus kerja GFR) pada saluran transmisi pada gardu Induk Pemecutan Kelod dapat dilihat pada tabel sebagai berikut:

Tabel 11. Hasil perhitungan *setting* arus kerja sebelum penambahan transformator

No.	Komponen Busbar	I_{setg} (A)
1	Trafo 1	32,6
2	Trafo 2	23,2
3	Trafo 3	29,6

Tabel 12. Hasil perhitungan *setting* arus kerja sesudah penambahan transformator

No.	Komponen Busbar	I_{setg} (A)
1	Trafo 1	19,2
2	Trafo 2	22,2
3	Trafo 3	24,6
4	Trafo 4	21,6

Waktu tunda untuk kopel adalah 1,5 detik jika terjadi gangguan penghantar dekat busbar maka relai penghantar diberi kesempatan terlebih dahulu. *Time dial* (T_d) untuk kurva standar inverse diperoleh dengan persamaan sehingga di dapat :

Perhitungan waktu kerja (T_d) trafo 1:

$$T_d = \frac{\left(\frac{I_{hs} I_{fs}}{I_{setg}}\right)^{0,02} - 1}{0,14} \text{ tg}$$

$$T_d = \frac{\left(\frac{13221}{32,6}\right)^{0,02} - 1}{0,14} 1,5$$

$$T_d = 1,36 \text{ SI}$$

Dari hasil perhitungan diatas diperoleh waktu kerja (T_d) dengan hasil 1,36 SI, dengan cara yang sama untuk mencari waktu kerja (T_d) pada saluran transmisi pada gardu Induk Pemecutan Kelod dapat dilihat pada tabel sebagai berikut :

Tabel 13. Hasil perhitungan *setting* waktu kerja sebelum penambahan transformator

No.	Komponen Busbar	T_d (SI)
1	Trafo 1	1,36
2	Trafo 2	1,44
3	Trafo 3	1,38

Tabel 14. Hasil perhitungan *setting* waktu kerja sesudah penambahan transformator

No.	Komponen Busbar	T_d (SI)
1	Trafo 1	1,49
2	Trafo 2	1,45
3	Trafo 3	1,43
4	Trafo 4	1,46

5. SIMPULAN

Berdasarkan hasil perhitungan dan pembahasan yang telah dilakukan sebelumnya dapat diambil simpulan adalah sebagai berikut:

1. *Current Transformator* (CT) bernilai sebesar 2400/1 dengan arus hubung singkat 3 fasa sebesar 12933 A, maka diperoleh stabilitas resistor (R_{stab}) sebelum penambahan transformator sebesar 5,48 Ω , sedangkan sesudah penambahan transformator diperoleh stabilitas resistor (R_{stab}) sebesar 5,78 Ω .
2. Besar nilai arus pada busbar sebelum terjadi penambahan transformator diperoleh arus input sebesar 1030 A dan arus output sebesar 1010 ampere dengan *losses* di dapat 1,9%, sedangkan sesudah penambahan transformator diperoleh arus input sebesar 1070 ampere dan arus output sebesar 1060 dengan *losses* sebesar 0,9%. Hasil perhitungan *losses* memenuhi sesuai dengan standar SPLN No.1:1987 untuk sistem 150 kV.

6. DAFTAR PUSTAKA

[1] Purnawan, I. M. D. 2016. "Studi Pengaman Busbar Pada Gardu Induk Amlapura": Universitas Udayana

- [2] Aslimeri. 2008. Teknik Transmisi Tenaga Listrik. Jakarta: Direktorat Pembinaan Sekolah Menengah Kejuruan, Direktorat Jenderal Manajemen Pendidikan Dasar dan Menengah, Departemen Pendidikan Nasional.
- [3] PT PLN (Persero) Pusat Pendidikan dan Pelatihan. Perhitungan *Setting* Relai Proteksi Busbar
- [4] Yoga, IGN A. B. H. 2016. "Studi Koordinasi Rele Pengaman Pada Sistem Busbar Di Gardu Induk Kapal". Jimbaran: Universitas Udayana.
- [5] PT PLN (Persero) APB.APP Bali Gardu Induk Kapal. Buku Petunjuk Proteksi dan Kontrol Busbar.
- [6] Manurung, Julian Maruli Torang. 2009. "Studi Pengaman Busbar Pada Gardu Induk Siantan": Universitas Tanjungpura
- [7] Samaulah, H. 2004. "*Dasar-dasar Sistem Proteksi Tenaga Listrik*". Palembang: Universitas Sriwijaya.
- [8] Dermawan, E. 2017. "Analisa koordinasi *Over Current Relay* dan *Ground Fault Relay* Di Sistem Proteksi Feeder Gardu Induk 20 kV Jababeka". Jakarta: Universitas Muhammadiyah Jakarta.
- [9] Jaelani, Z. 2013 "Analisis Rugi-Rugi Daya Pada Saluran Transmisi 500kV dengan Menggunakan DIgSILENT": Universitas Pendidikan Indonesia
- [10] Ridwan, A. 2015. "Studi Pengaruh *Mutual Indutance* Terhadap *Setting* Rele Jarak pada Saluran Transmisi *Double Circuit* 150kV antara GI Kapal – GI Pemecutan Kelod: Universitas Udayana.