

Studi Analisis Kapasitas Pengaman Kopel dalam Mensuplai Daya di Bandara Internasional Ngurah Rai Saat Hilangnya Suplai Daya Dari Penyulang Gayatri atau Penyulang Bandara

I.G.A.Yoga Armika¹, I.G. Dyana Arjana², I.W. Rinas³

Abstrak— *Loss of electrical power supply can be caused by a disruption or work network, to maintain the continuity of power at Ngurah Rai International Airport when a loss of power supply maneuver the load. Maneuver the load carried by the connecting bus service burden I and II using the service load bus coupling aid. Kopel include safety relays overcurrent works by comparing a large input current by setting relay. The results obtained after the analysis by manual calculation is the nominal value of the burden of service I and load Airports II of 300 A, obtained the current setting is the coupling of $I_{set} = 180$ A, the working time rele 0.025 seconds with $Tms = 0.052$ SI and for setting GFR obtained setting a current of $ISET = 28\ 028$ A with $Tms = 0.008$ SI. Simulations done by giving disturbance on the bus load of service I, where the relay will work with a time of 0.025 seconds to instruct PMT on the coupling loose, so it does not interfere with the network on the side feeder Ngurah Rai I and feeder Ngurah Rai II, so that the continuity of load power Airports II to stay awake.*
Keywords: *Over Current Protection Relay (OCR), ETAP program Powerstation.*

Abstrak— *Hilangnya suplai daya listrik dapat diakibatkan oleh gangguan atau pekerjaan jaringan, untuk menjaga kontinuitas daya listrik di bandara Internasional Ngurah Rai saat hilangnya suplai daya dilakukan manuver beban. Manuver beban dilakukan dengan menghubungkan bus beban Bandara I dan bus beban Bandara II menggunakan bantuan kopel. Kopel dilengkapi pengaman rele arus lebih yang bekerja dengan membandingkan besar input arus dengan setting rele. Hasil yang diperoleh setelah analisa dengan perhitungan manual yaitu nilai nominal beban Bandara I dan beban Bandara II sebesar 300 A, didapat setting arus lebih pada kopel sebesar $I_{set} = 180$ A, waktu kerja rele 0.025 detik dengan $Tms = 0.052$ SI dan untuk setting GFR didapat setting arus sebesar $I_{set} = 28.028$ A dengan $Tms = 0,008$ SI. Simulasi dilakukan dengan memberi gangguan di bus beban Bandara I, dimana rele akan bekerja dengan waktu 0.025 detik untuk memerintahkan PMT pada kopel lepas, sehingga tidak mengganggu jaringan di sisi Penyulang Ngurah Rai I dan Penyulang Ngurah Rai II, sehingga kontinuitas daya beban Bandara II tetap terjaga.*

Kata Kunci : *Proteksi Over Current Relay (OCR), Program ETAP Powerstation.*

¹Mahasiswa, Jurusan Teknik Elektro dan Komputer Fakultas Teknik Universitas Udayana, Jln. Kampus Bukit Jimbaran 80361 INDONESIA (telp: 0361-703315; fax: 0361-4321; e-mail:yogaarmika@gmail.com

^{2,3}Dosen, Jurusan Teknik Elektro dan Komputer Fakultas Teknik Universitas Udayana, Jln. Kampus Bukit Jimbaran 80361 INDONESIA (telp: 0361-703315; fax: 0361-4321; e-mail:¹dyanaarjana@unud.ac.id, ²rinass@unud.ac.id,

I. PENDAHULUAN

Beban Bandara Internasional Ngurah Rai terbagi menjadi 2, yakni beban Bandara I dan beban Bandara II. Apabila terjadi hilangnya daya listrik pada Penyulang Gayatri, dan Penyulang Bandara tidak berfungsi untuk menggantikan mensuplai daya maka beban Bandara I akan padam sehingga dapat mengakibatkan dampak buruk pada sistem operasi penerbangan. Pengalihan suplai daya listrik dari penyulang Ngurah Rai I dan penyulang Ngurah Rai II dapat dilakukan dengan menghubungkan kopel yang menghubungkan bus beban Bandara I dan beban Bandara II.

Penelitian yang telah dilakukan sebelumnya dengan judul “Analisa Koordinat Setting Rele Pengaman Akibat Uprating di Gardu Induk Gianyar” membahas tentang setting rele di setiap zona pengaman. Pada kopel yang menghubungkan bus beban penyulang I dan penyulang II di zona IV, dilakukan setting rele kembali akibat uprating transformator sehingga didapat setting rele yang akurat di setiap zona [1]. Untuk menghindari terjadi arus lebih yang dapat mengakibatkan padam total (*blackout*) saat melakukan pengalihan suplai daya maka salah satu cara untuk menghilangkan gangguan tersebut adalah memutus aliran daya yang berasal dari Penyulang Ngurah Rai I dan II[2].

Arus beban puncak Bandara I dari penyulang Gayatri sebesar 143A. sedangkan pada Bandara II arus beban puncak dari penyulang Ngurah Rai I dan II sebesar 166 A [3]. Berdasarkan kondisi yang telah dijabarkan di atas, memungkinkan dilakukan pengalihan suplai daya dari Penyulang Ngurah Rai I dan Penyulang Ngurah Rai II. Sebelum melakukan pengalihan suplai daya perlu diketahui kemampuan kapasitas pengaman kopel yang menghubungkan bus beban Bandara I dan beban Bandara II.

II. SISTEM DISTRIBUSI DAN PENGAMAN TENAGA LISTRIK

A. Sistem Distribusi Tenaga Listrik

Saluran distribusi merupakan suplai tenaga listrik ke beban atau konsumen melalui tahapan-tahapan seperti pembangkitan, transmisi, dan saluran distribusi itu sendiri. Saluran distribusi yang umum digunakan antara lain[4]:

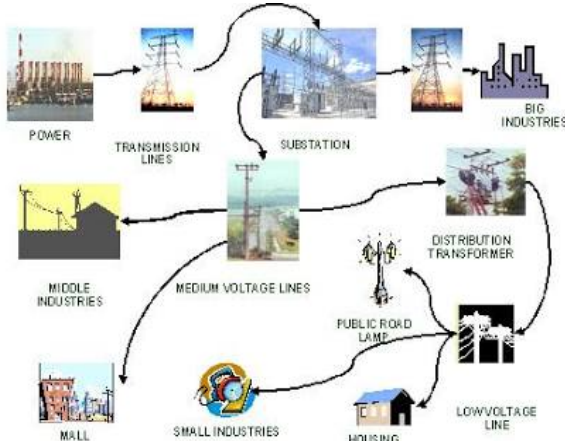
1. Sistem jaringan distribusi primer

Sistem distribusi primer digunakan untuk menyalurkan tenaga listrik ke pusat beban, sistem ini dapat menggunakan kabel udara ataupun kabel tanam sesuai tingkat keandalan dan kondisi lingkungan



2. Sistem jaringan distribusi sekunder.

Sistem jaringan distribusi sekunder digunakan untuk menyalurkan tenaga listrik dari gardu distribusi sampai ke sambungan rumah dengan tegangan rendah 220 Volt. Adapun alur pendistribusian listrik sebagai berikut:



Gambar 1: Alur Pendistribusian Tenaga Listrik[10]

B. Sistem Pengaman Tenaga Listrik

Pada umumnya sistem pengaman tenaga listrik dirancang untuk mengidentifikasi informasi yang diperoleh dari sistem tersebut seperti arus, tegangan, atau sudut fasa antara keduanya. Informasi yang didapat akan digunakan untuk melakukan perbandingan besarnya dengan ambang batas (*threshold setting*) pada peralatan proteksi[5]. Apabila melebihi ambang batas maka sistem proteksi akan bekerja untuk mengamankan kondisi tersebut. Kondisi abnormal yang terjadi akibat gangguan antara lain:

1. Hubung singkat
2. Tegangan lebih/kurang
3. Beban lebih
4. Frekuensi sistem turun/naik

Apabila proteksi distribusi tenaga listrik baik, maka nilai ekonomis dapat diperoleh karena jika dalam suatu distribusi dan transmisi terjadi gangguan, maka kerusakan peralatan tidak menyebar ke peralatan yang lain.

C. Rele Arus Lebih (Over Current Relay)

Rele arus lebih merupakan rele yang bekerja berdasarkan adanya kenaikan arus yang melebihi nilai tertentu yang melewatinya, rele ini akan bekerja pada jangka waktu yang telah ditentukan[5]. Rele arus lebih dapat dibagi sebagai berikut[6] :

1. Rele arus lebih seketika (*Instantaneous*)
Rele ini bekerja dengan sangat singkat berkisar 20-100 *mili second* tanpa waktu tunda.
2. Rele Arus Lebih Waktu tertentu (*Definite Time*)
Rele ini bekerja dengan jangka waktu tertentu dan tidak hanya tergantung dari besarnya arus yang menggerakkan.
3. Rele arus lebih waktu terbalik (*Inverse Time*)

Rele ini mempunyai sifat waktu terbalik untuk nilai arus yang kecil dan mempunyai sifat waktu tertentu untuk nilai arus yang lebih besar.

D. Perhitungan Impedansi Ekvivalen

Impedansi ekuivalen untuk menghitung arus hubung singkat terdiri dari impedansi ekuivalen urutan positif (Z_{1eq}), impedansi ekuivalen urutan negatif (Z_{2eq}) dan impedansi ekuivalen urutan nol (Z_{0eq}), untuk nilai $Z_{1eq} = Z_{2eq}$ sehingga perhitungan[5] :

$$Z_{1eq} = Z_{s2} + Z_{t1} + Z_{1penyulang} \quad (1)$$

dan

$$Z_{0eq} = Z_{t0} + 3R_n + Z_{0penyulang} \quad (2)$$

Keterangan

Z_{1eq} = Impedansi ekuivalen urutan positif

Z_{2eq} = Impedansi ekuivalen urutan negatif

Z_{0eq} = Impedansi ekuivalen urutan nol

Z_{s2} = Impedansi sumber

Z_{t1} = Impedansi transformator tenaga

Z_{t0} = Impedansi transformator tenaga urutan nol

$3R_n$ = NGR (nilai tahanan pembumihan)

$Z_{1penyulang}$ = Impedansi jaringan distribusi

$Z_{0penyulang}$ = Impedansi urutan nol penyulang

E. Prinsip Dasar Perhitungan Arus Hubung Singkat

Gangguan hubung singkat dapat menimbulkan arus yang jauh lebih besar dari pada arus normal, dan dapat menimbulkan kerusakan peralatan jaringan serta mengganggu batas-batas kestabilan sistem daya[7]. Gangguan hubung singkat yang sering terjadi dalam pendistribusian tenaga listrik yaitu[5] :

1. Gangguan Hubung Singkat 1 fasa

$$I_{hs1\emptyset} (20 \text{ kV}) = \frac{3 \cdot \frac{(V_s \cdot 10^3)}{\sqrt{3}}}{(2 \cdot Z_{1eq}) + Z_{0eq}} \quad (3)$$

2. Gangguan Hubung singkat 2 fasa

$$I_{hs2\emptyset} (20 \text{ kV}) = \frac{V_s \cdot 10^3}{2 \cdot Z_{1eq}} \quad (4)$$

3. Gangguan Hubung Singkat 3 fasa

$$I_{hs3\emptyset} (20 \text{ kV}) = \frac{V_s \cdot 10^3 / \sqrt{3}}{Z_{1eq}} \quad (5)$$

Keterangan :

$I_{hs1\emptyset}$ = Arus hubung singkat 1 fasa

$I_{hs2\emptyset}$ = Arus hubung singkat 2 fasa

$I_{hs3\emptyset}$ = Arus hubung singkat 3 fasa

V_s = Tegangan sisi sekunder

Z_{1eq} = Impedansi ekuivalen urutan positif

Z_{0eq} = Impedansi ekuivalen urutan nol

F. Perhitungan Setting Arus dan Waktu Rele Arus Lebih

Rele arus lebih tidak boleh bekerja pada keadaan beban maksimum, sehingga nominal transformator arus (CT) merupakan arus maksimumnya[5]. Berikut merupakan perhitungan *setting* arus :

$$I_{set} = \frac{1,2 \cdot I_p}{CT_p} \quad (6)$$

Keterangan :

I_{set} = Setelan arus

I_p = Arus nominal pada sisi primer

CT_p = Rasio transformator arus pada sisi primer

Untuk setting waktu pada rele dibuat secara bertingkat agar mendapatkan pengaman yang selektif. Pada jaringan distribusi *Time Multiple Setting* (TMS) dan setelan waktu menggunakan *Standard Inverse* yang dihitung menggunakan rumus kurva waktu terhadap arus. Berikut merupakan perhitungan nilai TMS dan waktu aktual[5]:

$$Tms = \frac{t \cdot (I_{fault})^\alpha}{I_{set}^\alpha - 1} \cdot \beta \quad (7)$$

dan

$$t = \frac{\beta \cdot tms}{(I_{fault})^\alpha - 1} \cdot I_{set} \quad (8)$$

Keterangan :

- Tms = Time Multiple Setting
- t = waktu kerja
- I_{fault} = Arus gangguan hubung singkat
- $I_{set p}$ = Arus setting sisi primer
- α, β = Konstanta

TABEL 1
KONSTANTA α DAN β [6]

Nama Kurva	α	β
Standard Inverse	0.02	0.14
Very Inverse	1	13.2
Extremely Inverse	2	80

III. METODE PENELITIAN

A. Tempat dan Waktu Penelitian

Penelitian dan analisis dilakukan di PT.PLN (Persero) Distribusi Bali Area Bali Selatan, dengan waktu pelaksanaan penelitian dimulai pada bulan Pebruari 2016.

B. Sumber dan Jenis Data

Sumber data dalam pembahasan penelitian ini berupa data sekunder yang diperoleh dari PT.PLN (Persero) Distribusi Bali Area Bali Selatan dan studi literatur serta sumber-sumber lainnya. Jenis data yang digunakan dalam penyusunan penelitian ini adalah data kuantitatif, yaitu berupa angka- angka yang terkait dengan data historis beban pada Penyulang Gayatri dan Penyulang Bandara yang terdapat dalam sistem distribusi Bandara Internasional Ngurah Rai Bali.

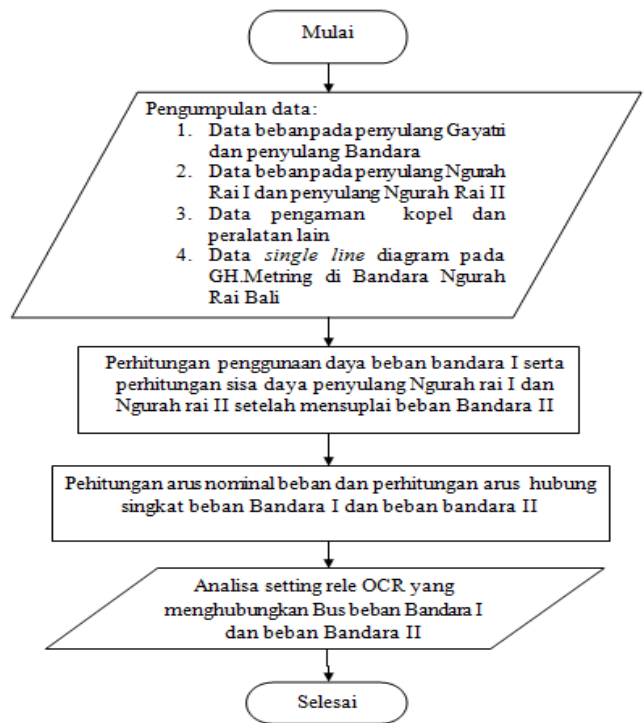
C. Analisis Data

Analisis dalam penelitian ini dilakukan dalam beberapa tahapan sebagai berikut :

1. Pengumpulan dan analisis data beban dan spesifikasi penghantar penyulang Gayatri dan penyulang Bandara.
2. Melakukan perhitungan manual penggunaan daya listrik beban Bandara I dan beban Bandara II.
3. Menganalisa kapasitas pengaman kopel dengan melakukan *setting* rele.

D. Diagram Alur analisis

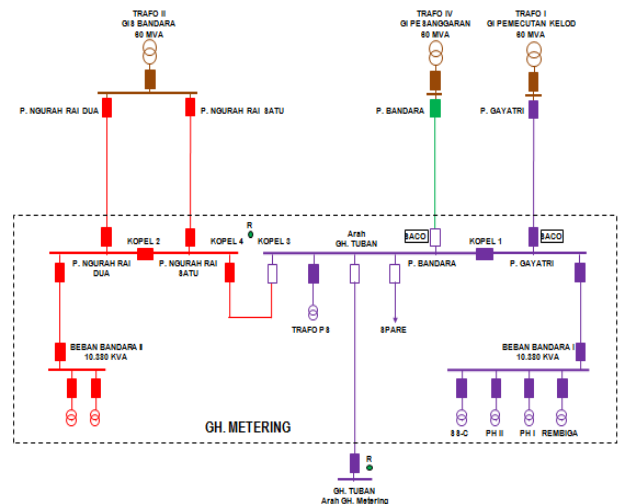
Alur analisis yang digunakan dalam penulisan penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2: Alur Analisis Penelitian

IV. PEMBAHASAN DAN ANALISIS

Bandara Internasional Ngurah Rai merupakan pelanggan ber-daya besar yang membutuhkan suplai daya khusus. Berikut ini gambar *single line diagram* dan data pengantar di penyulang yang akan digunakan untuk melakukan perhitungan dan simulasi di Bandara Internasional Ngurah Rai[8].



Gambar 3: single line diagram GH.Metering[8]

TABEL 2
DATA PENGANTAR PENYULANG DI BANDARA
INTERNASIONAL NGURAH RAI[9]

Penyulang	Jenis Pengantar	Panjang Pengantar	Z _{1R} Ω /km	Z _{1X} Ω /km	Z _{0R} Ω /km	Z _{0X} Ω /km
P. Ngurah Rai I dan II	NA2XSE YBY 3x300 mm ²	4.531 Km	0.130	0.289	0.250	0.282
P. Gayatri	MVTIC 150 mm ²	7.2 Km	0.265	0.106	0.363	1.618

A. Perhitungan Arus Hubung Singkat

Untuk menghitung arus hubung singkat di penyulang terlebih dahulu menghitung nilai impedansi ekuivalen penyulang dengan menggunakan persamaan (1) dan (2), sehingga didapat hasil perhitungan untuk nilai impedansi ekuivalen penyulang Ngurah Rai I dan II pada table 3:

TABEL 3
HASIL PERHITUNGAN NILAI IMPEDANSI EKIWALEN
PENYULANG NGURAH RAI I DAN II

% Penyulang	Penyulang Ngurah Rai I dan II	
	Impedansi positif dan negative Z _{1eq} = Z _{2eq}	Impedansi nol Z _{0eq}
1 %	0.005 + j0.981	120.011+ j2.511
100 %	0.589 + j2.278	121.133+ j3.777

Perhitungan nilai ekuivalen penyulang Gayatri juga menggunakan persamaan (1) dan (2), sehingga didapat hasil perhitungan pada tabel 4:

TABEL 4
HASIL PERHITUNGAN NILAI IMPEDANSI EKIWALEN
PENYULANG GAYATRI

% Penyulang	Penyulang Gayatri	
	Impedansi positif dan negative Z _{1eq} = Z _{2eq}	Impedansi nol Z _{0eq}
1 %	0.019 + j0.940	120.026+ j j8.446
100 %	1.908 + j1.695	122.613+ 19.979

Perhitungan arus hubung singkat penyulang ngurah rai I dan II dengan menggunakan persamaan (3), (4), dan (5) di dapatkan hasil perhitungan pada tabel 5:

TABEL 5
HASIL PERHITUNGAN ARUS HUBUNG SINGKAT
PENYULANG NGURAH RAI I DAN II

% Penyulang	Penyulang Ngurah Rai I dan II		
	I _{hs} 3 Ø 20 kV	I _{hs} 2 Ø 20 kV	I _{hs} 1 Ø 20 kV
1 %	11770.49	10193.55	288.424
100 %	4907.534	4250.049	280.284

Perhitungan arus hubung singkat penyulang Gayatri menggunakan persamaan (3),(4) dan (5), sehingga didapat hasil perhitungan pada tabel 6:

TABEL 6
HASIL PERHITUNGAN ARUS HUBUNG SINGKAT
PENYULANG GAYATRI

% Penyulang	Penyulang Gayatri		
	I _{hs} 3 Ø 20 kV	I _{hs} 2 Ø 20 kV	I _{hs} 1 Ø 20 kV
1 %	12281.54	10.636.13	287.460
100 %	4524.416	3918.259	269.431

B. Setting Rele Penyulang Ngurah Rai I dan II

Data existing yang di dapat dari PT.PLN (Persero) APD Bali tidak ditemukan setting rele pada kopel 3 yang menghubungkan bus beban Bandara I dan beban Bandara II, dikarenakan belum dilakukannya setting rele pada kopel 3.

TABEL 6
DATA EXISTING SETTING RELE
PENYULANG NGURAH RAI I DAN II[10]

Setting	Setting phase - phase				Setting Phase – tanah		
	CT	Iset	Waktu	Curva	Iset	waktu	Curva
P. Ngurah Rai I	600/1	336	0.2	SI	50	0.200	SI
P. Ngurah Rai II	600/1	336	0.2	SI	50	0.200	SI
GH1	600/5	328	0.12	SI	36	0.12	SI
GH2	600/5	328	0.12	SI	36	0.12	SI
Kopel 3	-	-	-	-	-	-	-

Sebelum menghitung setting arus rele di Penyulang, maka harus diketahui arus beban (I_b) terlebih dahulu. Diketahui daya pelanggan di Penyulang Ngurah Rai I dan II untuk Beban Bandara II sebesar 10.380 kVA, sehingga perhitungan dilakukan untuk mendapat nilai I_b sebagai berikut :

$$I_b = \frac{S}{V \cdot \sqrt{3}}$$

$$I_b = \frac{10380 \text{ kVA}}{V \cdot \sqrt{3}}$$

$$I_b = 300 \text{ A}$$

Jadi arus beban untuk perhitungan setting rele adalah 300 A.

Perhitungan setting arus primer dan sekunder rele arus lebih dihitung dengan menggunakan nilai arus beban yaitu 300 A dan untuk perhitungan nilai Tms dengan karakteristik standard inverse menggunakan gangguan hubung singkat penyulang Ngurah Rai I dan II terbesar yaitu 11770.49 A, perhitungan sebagai berikut:

1. Perhitungan Setting Over Current Relay di sisi GI dengan menggunakan persamaan (6)

$$I_{set (p)} = 1.2 \times I_b$$

$$= 1.2 \times 300$$

$$= 360 \text{ A}$$

$$I_{set (s)} = (1.2 \times I_b)/CT$$

$$= 360/(600/1)$$

$$= 0.6 \text{ A}$$

Perhitungan *Time Multiple Setting* dan waktu actual dengan menggunakan persamaan (7),(8)

$$\begin{aligned} T_{ms} &= \frac{t \cdot \frac{(I_{fault})^a}{I_{set}} - 1}{0.14} \\ &= \frac{0.3 \cdot \left[\left(\frac{11770.49}{360} \right)^{0.02} - 1 \right]}{0.14} \\ &= 0.154 \text{ SI} \\ t &= \frac{0.14 \cdot t_{ms}}{\frac{(I_{fault})^a}{I_{set}} - 1} \\ &= \frac{0.14 \cdot 0.154}{\left(\frac{11770.49}{360} \right)^{0.02} - 1} \\ &= 0.3 \text{ detik} \end{aligned}$$

2. Perhitungan *Setting Over Current Relay* di sisi GH dengan menggunakan persamaan (6)

$$\begin{aligned} I_{set(p)} &= 1.1 \times I_b \\ &= 1.1 \times 300 \\ &= 330 \text{ A} \\ I_{set(s)} &= (1.1 \times I_b) / CT \\ &= 330 / (600/5) \\ &= 2.75 \text{ A} \end{aligned}$$

Perhitungan *Time Multiple Setting* dan waktu actual dengan menggunakan persamaan (7),(8)

$$\begin{aligned} T_{ms} &= \frac{t \cdot \frac{(I_{fault})^a}{I_{set}} - 1}{0.14} \\ &= \frac{0.1 \cdot \left[\left(\frac{11770.49}{330} \right)^{0.02} - 1 \right]}{0.14} \\ &= 0.052 \text{ SI} \\ t &= \frac{0.14 \cdot t_{ms}}{\frac{(I_{fault})^a}{I_{set}} - 1} \\ &= \frac{0.14 \cdot 0.052}{\left(\frac{11770.49}{330} \right)^{0.02} - 1} \\ &= 0.1 \text{ detik} \end{aligned}$$

3. Perhitungan *setting Over Current Relay* di sisi Kopel dengan menggunakan persamaan (6)

$$\begin{aligned} I_{set(p)} &= 0.6 \times I_{beban} \\ &= 0.6 \times 300 \\ &= 180 \text{ A} \\ I_{set(s)} &= (0.6 \times I_b) / CT \\ &= 180 / (400/5) \\ &= 2.25 \text{ A} \end{aligned}$$

Perhitungan *Time Multiple Setting* dan waktu actual dengan menggunakan persamaan (7),(8)

$$\begin{aligned} T_{ms} &= \frac{t \cdot \frac{(I_{fault})^a}{I_{kplset}} - 1}{0.14} \\ &= \frac{0.025 \cdot \left(\frac{11770.49}{180} \right)^{0.02} - 1}{0.14} \\ &= 0.015 \text{ SI} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} t &= \frac{0.14 \cdot t_{ms}}{\frac{(I_{fault})^a}{I_{set}} - 1} \\ &= \frac{0.14 \cdot 0.015}{\left(\frac{11770.49}{180} \right)^{0.02} - 1} \\ &= 0.025 \text{ detik} \end{aligned}$$

Untuk memperoleh *setting Ground Fault Relay* digunakan nilai arus hubung singkat 1 fasa terkecil Penyulang Ngurah Rai I dan II sebesar 280.284 A, perhitungan sebagai berikut:

1. Perhitungan *Setting Ground Fault Relay* di sisi GI

$$\begin{aligned} I_{set(p)} &= 12\% \times I_{fault} \text{ 1 fasa ketanah} \\ &= 0,12 \times 280.284 \\ &= 33.634 \text{ A} \\ I_{set(s)} &= I_{set(p)} / CT \\ &= 33.634 / (600/1) \\ &= 0.056 \text{ A} \end{aligned}$$

Perhitungan *Time Multiple Setting* dan waktu actual dengan menggunakan persamaan (7),(8)

$$\begin{aligned} T_{ms} &= \frac{t \cdot \frac{(I_{fault})^a}{I_{set}} - 1}{0.14} \\ &= \frac{0.3 \cdot \left[\left(\frac{280.284}{33.634} \right)^{0.02} - 1 \right]}{0.14} \\ &= 0.092 \text{ SI} \\ t &= \frac{0.14 \cdot t_{ms}}{\frac{(I_{fault})^a}{I_{set}} - 1} \\ &= \frac{0.14 \cdot 0.092}{\left(\frac{280.284}{33.634} \right)^{0.02} - 1} \\ &= 0.3 \text{ detik} \end{aligned}$$

2. Perhitungan *Setting Ground Fault Relay* di sisi GH

$$\begin{aligned} I_{set(p)} &= 11\% \times I_{fault} \text{ 1 fasa ketanah} \\ &= 0,11 \times 280.284 \\ &= 30.83 \text{ A} \\ I_{set(s)} &= I_{set(p)} / CT \\ &= 30.83 / (600/5) \\ &= 0.256 \text{ A} \end{aligned}$$

Perhitungan *Time Multiple Setting* dan waktu actual dengan menggunakan persamaan (7),(8)

$$\begin{aligned} T_{ms} &= \frac{t \cdot \frac{(I_{fault})^a}{I_{set}} - 1}{0.14} \\ &= \frac{0.1 \cdot \left[\left(\frac{280.284}{30.831} \right)^{0.02} - 1 \right]}{0.14} \\ &= 0.032 \text{ SI} \\ t &= \frac{0.14 \cdot t_{ms}}{\frac{(I_{fault})^a}{I_{set}} - 1} \\ &= \frac{0.14 \cdot 0.032}{\left(\frac{280.284}{30.831} \right)^{0.02} - 1} \\ &= 0.1 \text{ detik} \end{aligned}$$

3. Perhitungan *Setting Ground Fault Relay* di sisi Kopel



$$\begin{aligned}
 I_{set (p)} &= 10\% \times I_{\text{fault 1 fasa ketanah}} \\
 &= 0,1 \times 280.284 \\
 &= 28.028 \text{ A} \\
 I_{set (s)} &= I_{set (pri)} / CT \\
 &= 28.028 / (400/5) \\
 &= 0.35 \text{ A}
 \end{aligned}$$

Perhitungan *Time Multiple Setting* dan waktu actual dengan menggunakan persamaan (7),(8)

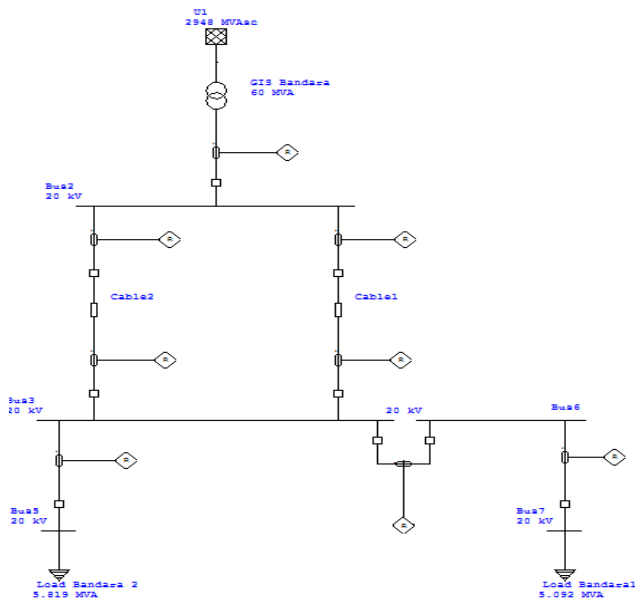
$$\begin{aligned}
 Tms &= \frac{t \cdot \left(\frac{I_{\text{fault}}}{I_{set}}\right)^a - 1}{0.14} \\
 &= \frac{0.025 \cdot \left[\left(\frac{280.284}{28.028}\right)^{0.02} - 1\right]}{0.14} \\
 &= 0.008 \text{ SI} \\
 t &= \frac{0.14 \cdot tms}{\left(\frac{I_{\text{fault}}}{I_{set}}\right)^a - 1} \\
 &= \frac{0.14 \cdot 0.008}{\left(\frac{280.284}{28.028}\right)^{0.02} - 1} \\
 &= 0.025 \text{ detik}
 \end{aligned}$$

TABEL 7
DATA HASIL PERHITUNGAN SETTING OCR DAN GFR
PENYULANG NGURAH RAI I DAN II

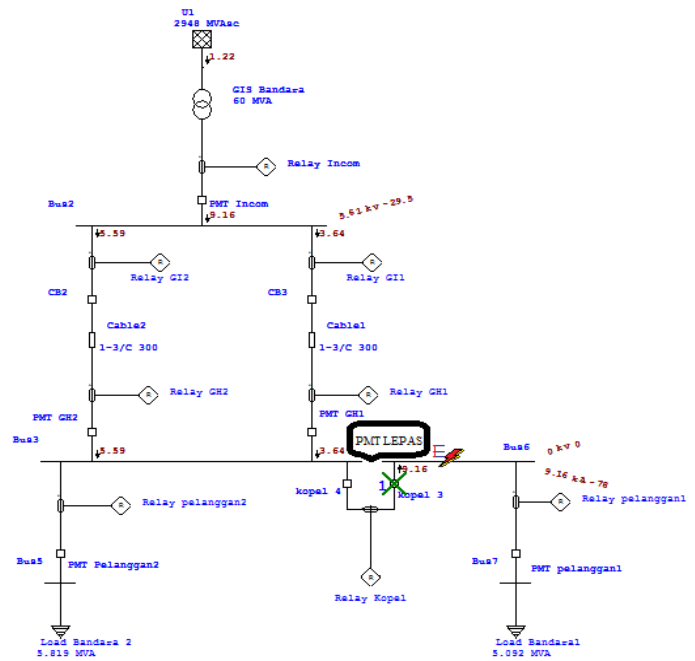
Keterangan	Setting OCR			Setting GFR		
	GI	GH	Kopel	GI	GH	Kopel
I _{set}	360	330	180	33.63	30.83	28.02
Tms	0.154	0.052	0.015	0.092	0.032	0.008
Curva	SI	SI	SI	SI	SI	SI
T Actual (detik)	0.3	0.1	0.025	0.3	0.1	0.025

C. Simulasi dengan menggunakan Program Etap

Berikut ini simulasi yang akan dilakukan dengan menggambar *Single Line diagram* dengan menggunakan Program Etap, dan menginput data hasil perhitungan *setting* OCR dan GFR.



Gambar 4 : Single Line Diagram GH Metering dengan Program Etap



Gambar 5 : PMT bekerja saat diberi gangguan

Bus beban Bandara Ngurah Rai I diberi gangguan dengan menggunakan *Star-Protective Device Coordination* pada Program ETAP. Pada gambar 5 terlihat saat diberi gangguan pada bus beban Bandara 1, PMT pada kopel 3 terlepas sehingga tidak mengganggu kontinuitas daya listrik di beban bandara II. Rele pengaman pada kopel 3 dapat dikatakan selektif karena memenuhi syarat bekerja pada daerah yang terganggu saja, sehingga sistem yang tidak terganggu dapat beroperasi dengan normal.

V. SIMPULAN DAN SARAN

Dari hasil perhitungan arus hubung singkat diperoleh nilai *setting* arus lebih di kopel 3 sebesar 180 A, *setting* arus primer ditentukan dari rata-rata penggunaan beban. *setting* arus sekunder didapat sebesar 2,25 A dengan menggunakan rasio transformator 400/5. *Setting* arus lebih GFR didapatkan 28.028 A untuk arus primer dan arus sekunder 0.35 A. Pada perhitungan *setting* arus OCR di sisi kopel 3 didapat nilai Tms sebesar 0.015 SI dengan waktu actual 0.025 detik, dan nilai Tms *setting* arus GFR didapat 0.008 SI. Saat terjadi gangguan pada bus beban Bandara I, rele akan bekerja dengan waktu 0.025 detik untuk memerintahkan PMT pada kopel 3 lepas, sehingga tidak mengganggu jaringan di sisi Penyulang Ngurah Rai I dan Penyulang Ngurah Rai II sehingga kontinuitas daya beban Bandara II tetap terjaga. Saran yang dapat dimunculkan dalam penulisan penelitian ini ialah agar dilakukan analisis lebih lanjut pada kopel 3 yang menghubungkan bus beban Bandara I dan bus beban Bandara II dengan menggunakan program atau metode lain untuk mendapatkan hasil yang lebih sempurna. Hasil perhitungan dapat digunakan sebagai acuan untuk menentukan *setting* arus lebih pada sisi kopel agar di dapat sistem distribusi jaringan yang lebih handal.

REFERENSI

- [1] Eko Putra (2015) ."*Analisa Koordinat Setting Rele Pengaman Akibat Uprating di Gardu Induk Gianyar,*" Teknik Elektro, Universitas Udayana
- [2] I. M. Dian Purnawan ."*Studi Pengaman Busbar Pada Gardu Induk Amplapura,*"Majalah Ilmiah Teknologi Elektro, Vol. 15 No. 1, Januari – juni, 2016
- [3] PT PLN (PERSERO) AJ Bali Selatan. 2013 "*Data Harian Beban Puncak Pebruari 2016*"
- [4] Daman, Suswanto. 2009. "*Sistem Distribusi Tenaga Listrik*". Padang: Universitas Negeri padang
- [5] PT PLN 1995. "*Pengantar Rele Proteksi*". Semarang : PT. PLN Pusklat.
- [6] Ramadan, Moh., dkk. 2000. "*Perhitungan Arus Hubung Singkat, koordinasi Setting Waktu Relay OCR dan GFR Pada Konfigurasi Jaringan Ring 3 Bus dan Zona Pengaman*". Semarang: PT Polysindo Eka Perkasa.
- [7] Indra Baskara."Studi Koordinat Peralatan Proteksi OCR dan GFR pada Penyulang Tibubeneng," Majalah Ilmiah Teknologi Elektro, Vol. 14 No. 2, Juli – Desember, 2015.
- [8] PT PLN (PERSERO) APD Bali. 2013 "*Single Line GH. Metering*"
- [9] PT PLN (PERSERO) AJ Bali Selatan. 2013 "*Data Panjang Penyulang di GH Metering*"
- [10] PT PLN (PERSERO) AJ Bali Selatan. 2013 "*Data Exsisting setting rele penyulang ngurah rai I dan II*"
- [11] Anonim (2013) <http://distribusitenaga.blogspot.com/2013/11/sistem-distribusi-tenaga-listrik.html>

