

# PERANCANGAN SISTEM PENGAMAN BUSBAR 150 KV MENGUNAKAN RELE DIFERENSIAL DI GARDU INDUK SANUR

Ahmad Fauzi<sup>1</sup>, I Gede Dyana Arjana<sup>2</sup>, Cok Gede Indra Partha<sup>3</sup>

<sup>1,2,3</sup> Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Udayana  
Kampus Bukit Jimbaran, Badung, Bali

[ahmaddfauzi@unud.ac.id](mailto:ahmaddfauzi@unud.ac.id)<sup>1</sup>, [dyanaarjana@unud.ac.id](mailto:dyanaarjana@unud.ac.id)<sup>2</sup>, [cokindra@unud.ac.id](mailto:cokindra@unud.ac.id)<sup>3</sup>

## Abstrak

Gardu Induk Sanur mempunyai peranan penting untuk mencukupi konsumsi energi listrik di wilayah Sanur dan sebagian wilayah kota Denpasar. Busbar merupakan bagian yang sangat penting pada kinerja suatu gardu induk. Gangguan yang terjadi pada busbar dapat mengakibatkan pemadaman yang meluas sehingga mengganggu kontinuitas aliran daya listrik. Sistem proteksi busbar yang bersifat sensitif, selektif dan cepat diperlukan untuk mencegah pemadaman yang meluas. Penelitian ini bertujuan untuk merancang proteksi busbar ganda 150 kV menggunakan rele diferensial. Aliran daya dan arus gangguan di Gardu Induk Sanur pada penelitian ini dianalisis menggunakan simulasi *load flow* dan *short circuit* dengan bantuan *software* komputer. Perhitungan arus sebagai dasar perancangan dan *setting* rele rele diferensial sebagai pengaman busbar dilakukan dengan metode *Merz price calculating current*, yaitu semua arus yang masuk dan keluar dari peralatan yang diamankan, dibandingkan satu sama lain. Sistem pengaman busbar menggunakan rele diferensial berhasil dirancang dengan *setting* arus *pick up* 0,88 A untuk busbar A dan 1,046 A untuk busbar B, serta *breakpoint* 6 A, *slope*1;30%, *slope*2;135%, dan waktu kerja nol detik untuk kedua rele tersebut. Rele diferensial yang dirancang mampu mengisolir gangguan pada busbar dengan lebih sensitif, lebih selektif, dan lebih cepat dengan *clearing time* 0,035 detik dibandingkan sistem pengaman kondisi eksisting dengan *clearing time* 1,185 detik.

**Kata kunci :** Busbar, Gangguan, Rele Diferensial

## Abstract

Sanur substation has an important role to fulfill electricity consumption in the Sanur area and parts of the city of Denpasar. Busbar is very important part of the performance of a substation. failures that occur on the busbar can result in widespread blackouts that disrupt the continuity of the flow of electric power. A sensitive, selective and fast busbar protection system is needed to prevent widespread blackouts. This research is designed to design dual 150 kV busbar protection using differential relays. The power flow and short circuit current in Sanur substation in this study were analyzed using simulation of load flow and short circuit with computer software. Current calculation as the basis for designing and setting differential relay settings as busbar protection is carried out by the Merz price calculating current method, all currents entering and leaving the secured equipment, compared to each other. The busbar protection system using differential relays was successfully designed with a pick up current setting of 0.88 A for busbar A and 1.046 A for busbar B, as well as breakpoints 6 A, slope1; 30%, slope2; 135%, and zero seconds working time for both relays the. The differential relay designed is able to isolate busbar failures more sensitive, more selective, and faster with a clearing time of 0.035 seconds compared to the existing condition protection system with a clearing time of 1.185 seconds.

**Key Words :** Busbar, Failure, Differential Relay

## 1. PENDAHULUAN

Busbar merupakan bagian utama yang sangat berpengaruh pada kinerja suatu Gardu Induk. Pengoperasian busbar tidak terlepas dari gangguan/kondisi abnormal. Gangguan yang terjadi pada busbar dapat mengakibatkan kerusakan pada peralatan di Gardu Induk tersebut [1]. 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]. Gangguan hubung singkat terparah yang pernah terjadi pada 4 Juli 2017 pada busbar B 150 kV di Gardu Induk Sanur menyebabkan tripnya PMT pada bay pesanggaran 1, pesanggaran 2, Gianyar 2, dan kopel busbar, serta kerusakan beberapa isolasi kaca. *Over Current Relay (OCR)* yang digunakan untuk mengamankan busbar pada kondisi saat ini di Gardu Induk Sanur belum mampu untuk mengisolir gangguan dengan baik. *Time grading* yang diterapkan pada OCR membuat waktu kerja OCR lebih lama. Sistem proteksi busbar yang cepat diperlukan untuk melindungi busbar. Waktu kerja sistem proteksi akan berpengaruh terhadap bahaya kerusakan yang timbul akibat gangguan, semakin cepat proteksi beroperasi, semakin kecil bahaya kerusakan peralatan dan *stress thermal* yang terjadi [3].

Sistem proteksi yang handal dapat segera mengantisipasi gangguan sedini mungkin dan meminimalisir efek yang terjadi akibat gangguan [4]. Sistem proteksi busbar seharusnya bekerja tanpa waktu tunda (*Instantaneous*) sehingga dapat dengan cepat mengisolir gangguan pada daerah proteksi busbar [5]. Sistem proteksi busbar tanpa waktu tunda tidak dapat dicapai dengan OCR kondisi saat ini, sehingga untuk memperoleh waktu kerja sistem proteksi busbar yang lebih cepat diperlukan penambahan rele diferensial. Sistem proteksi ini harus bekerja secara sensitif, selektif, cepat, dan harus stabil untuk gangguan yang terjadi diluar daerah proteksi busbar [6].

## 2. RELE DIFERENSIAL

### 2.1 Prinsip kerja

Rele diferensial memiliki prinsip kerja berdasarkan hukum kirchhof, dimana arus yang masuk pada suatu titik, sama dengan arus yang keluar dari titik tersebut.

Metode *Merz price calculating current* digunakan untuk perhitungan arus sebagai dasar perancangan sistem pengaman busbar menggunakan rele diferensial, dimana semua arus yang masuk dan keluar dari peralatan yang diamankan, dibandingkan satu sama lain. Selisih dari arus masuk dan keluar ini disebut dengan arus diferensial. Arus diferensial bernilai nol, berarti tidak ada gangguan yang terjadi [7].

### 2.2 Jenis rele diferensial

Rele diferensial sebagai pengaman busbar dibagi menjadi 2, yaitu jenis *high impedance* dan *low impedance*. Penelitian ini menggunakan rele diferensial jenis *low impedance*.

#### 2.2.1 Rele Diferensial Jenis *High Impedance*

Rele diferensial busbar jenis *high impedance* dipasang dengan skema semua CT pada bay yang terhubung pada busbar yang sama dihubungkan secara paralel satu sama lain. Skema ini mempunyai keunggulan yaitu memiliki kinerja tinggi dan hampir tidak ada batasan jumlah cabang sirkuit di busbar. Perkabelan CT dikoneksikan dengan sederhana ke persimpangan penjumlahan yang terletak di *switchyard* kemudian di salurkan dengan menggunakan satu set *lead* menuju ruang kontrol. Rele diferensial jenis ini membutuhkan *stabilizing resistor* dan tahanan non linier untuk mengantisipasi jika tegangan rangkaian sekunder melebihi nilai ketahanan isolasi dari sisi rangkaian sekunder pada saat terjadi gangguan internal [5].

#### 2.2.2 Rele Diferensial Jenis *Low Impedance*

Rele diferensial busbar *low impedance* memiliki kumparan Penahan dan kumparan Pengoperasian [9]. Rele jenis ini dikoneksikan langsung pada masing-masing CT pada bay yang tersambung ke busbar Yang dilindungi. Skema pengkoneksian seperti ini memungkinkan digunakannya CT dengan rasio yang berbeda. Rele jenis ini harus memiliki modul cadangan (modul analog input, modul *binary input*, modul *binary output*) untuk keperluan pengembangan/penambahan bay pada busbar nantinya [5]. Rele diferensial jenis *low impedance* umumnya memiliki variabel

setting bias yang terdiri dari slope dengan break point.

**2.3 Perhitungan setting rele diferensial**

Perhitungan Arus diferensial dan arus restrain secara berturut-turut dapat dilakukan dengan menggunakan persamaan 1 dan 2 [10].

$$I_{OP} = I_D = |i_1 + i_2 + \dots i_n| \quad (1)$$

$$I_{restrain} = \max (|i_1|, |i_2|, \dots |i_n|) \quad (2)$$

Keterangan :

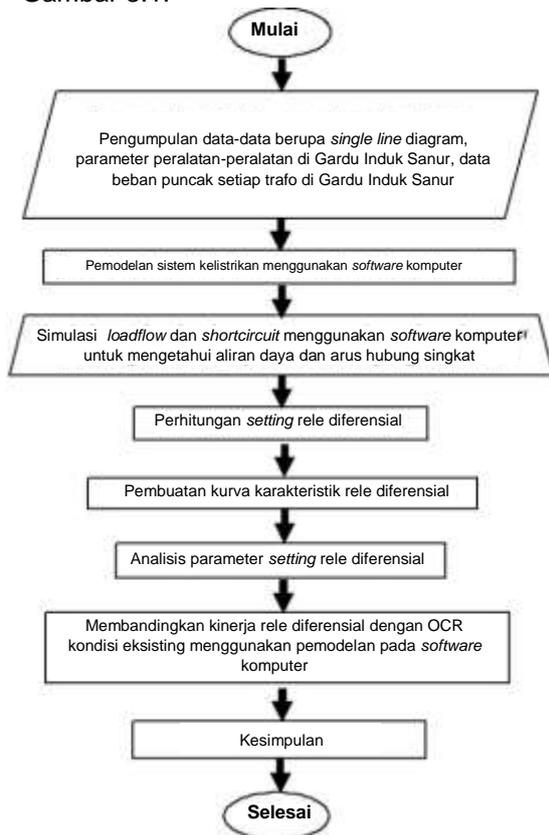
$I_{DIF}$  = Arus diferensial (A)

$i_n$  = Arus sekunder CT setiap bay (A)

$I_{restrain}$  = Arus Restain (A)

**3. METODOLOGI PENELITIAN**

Alur analisis data dapat dilihat pada Gambar 3.1.



Gambar 3.1 Diagram alur analisis penelitian

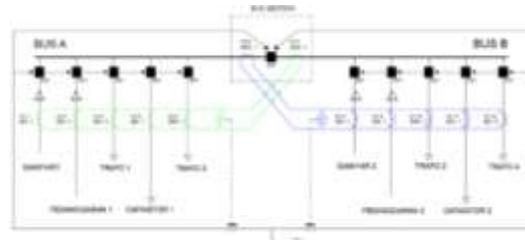
Penelitian ini dilaksanakan di Laboratorium Riset Manajemen Energi Listrik, Program Studi Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Udayana, Kampus Bukit Jimbaran dan PT PLN

(Persero) P3B JB APP Bali Gardu Induk Sanur. Waktu pelaksanaan dimulai dari bulan Januari sampai Mei 2020.

**4. HASIL DAN PEMBAHASAN**

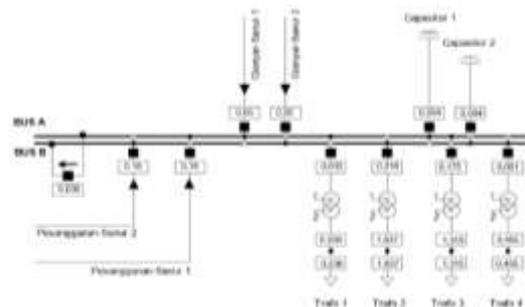
**4.1 Perhitungan Arus Diferensial dan arus Restain**

Skema rancangan sistem pengaman busbar 150 kV di Gardu Induk Sanur dapat dilihat pada gambar 4.1. Perhitungan arus diferensial dan arus restrain dilakukan pada masing-masing busbar menggunakan persamaan 1 dan 2. Perhitungan dilakukan pada saat kondisi normal, kondisi terjadi gangguan didalam dan diluar zona proteksi busbar.



Gambar 4.1 Skema Rancangan Sistem Pengaman Busbar 150 kV dengan Rele Diferensial

Gambar 4.2 menunjukkan kondisi normal pada gardu induk sanur. Besar arus diferensial dan arus restrain pada kondisi normal dapat di hitung dengan persamaan 1 dan 2.



Gambar 4.2 Load flow Gardu Induk Sanur saat Keadaan Normal

**4.1.1 Perhitungan pada Busbar A**

Arus diferensial dan arus restrain busbar A saat kondisi normal adalah sebagai berikut:

$$I_{DIF} = |i_1 + i_2 + \dots i_n|$$

$$I_{DIF} = |I_{ginyar 1} + I_{pesanggaran 1} - I_{trafo 1} - I_{trafo 3} - I_{cap 1} - I_{kopel}|$$

$$I_{DIF} = |0,063 + 0,225 - 0,194 - 0,087 - 0,119 - 0,018|$$

$$I_{DIF} = 0,13 A$$

$$I_{kopel} = (I_{ginyar 1} + I_{pesanggaran 1}) - (I_{trafo 1} + I_{trafo 3} + I_{capasitor 1})$$

$$0,018 A = (0,063 + 0,225) - (0,194 + 0,112 A)$$

$$0,018 A = (0,063 + 0,225) - (0,194 + 0,087 + 0,119)$$

$$0,018 A \neq - 0,112 A$$

$$I_{restain} = \max(|I_p|, |I_s|)$$

$$I_{restain} = \max(|0,018|, |- 0,112|)$$

$$I_{restain} = 0,112 A$$

#### 4.1.2 Perhitungan pada Busbar B

Arus diferensial dan arus restain busbar B saat kondisi normal adalah sebagai berikut:

$$I_{DIF} = |i_1 + i_2 + \dots + i_n|$$

$$I_{DIF} = |I_{trafo 2} + I_{trafo 4} + I_{capasitor 2} - I_{ginyar 2} - I_{pesanggaran 2} - I_{kopel}|$$

$$I_{DIF} = |0,109 + 0,375 + 0,119 - 0,063 - 0,225 - 0,018|$$

$$I_{DIF} = 0,296 A$$

$$I_{kopel} = (I_{trafo 2} + I_{trafo 4} + I_{capasitor 2}) - (I_{ginyar 2} + I_{pesanggaran 2})$$

$$0,018 A = (0,109 + 0,375 + 0,119) - (0,063 + 0,225)$$

$$0,018 A \neq 0,314 A$$

$$I_{restain} = \max(|I_p|, |I_s|)$$

$$I_{restain} = \max(|0,018|, |0,314|)$$

$$I_{restain} = 0,314 A$$

Perhitungan arus diferensial dan arus restain dilakukan dengan cara yang sama untuk kondisi gangguan diluar zona proteksi busbar pada line ginyar 1 dan 2, line pesanggaran 1 dan 2, trafo 1, 2, 3, 4 dan gangguan didalam zona proteksi busbar pada busbar A dan busbar B dengan memperhatikan besaran dan arah arus yang mengalir pada setiap busbar. Hasil perhitungan arus diferensial dan arus restain saat kondisi normal, kondisi gangguan diluar dan didalam zona proteksi busbar A dan busbar B dapat dilihat pada tabel 4.1 dan 4.2.

Tabel 4.1 Hasil perhitungan arus diferensial dan arus restain pada busbar A

Kondisi	$I_{restain}$	$I_D$
Kondisi Normal	0,112	0,130
Gangguan di bus A	6,118	8,563
Gangguan di bus B	6,118	3,673
Gangguan di Pesanggaran 1	0,665	0,399
Gangguan di Pesanggaran 2	0,654	0,387
Gangguan di Gianyar 1	0,551	0,330
Gangguan di Gianyar 2	0,551	0,330
Gangguan di Trafo 1	8,330	7,960
Gangguan di Trafo 2	0,926	0,556
Gangguan di Trafo 3	0,370	0,556
Gangguan di Trafo 4	0,926	0,556

Tabel 4.2 Hasil perhitungan arus diferensial dan arus restain pada busbar B

Kondisi	$I_{restain}$	$I_D$
Kondisi Normal	0,314	0,296
Gangguan di bus A	6,118	3,673
Gangguan di bus B	6,118	8,563
Gangguan di Pesanggaran 1	0,654	0,387
Gangguan di Pesanggaran 2	0,665	0,399
Gangguan di Gianyar 1	0,551	0,330
Gangguan di Gianyar 2	0,551	0,330
Gangguan di Trafo 1	0,926	0,556
Gangguan di Trafo 2	0,370	0,556
Gangguan di Trafo 3	0,926	0,556
Gangguan di Trafo 4	8,330	7,960

## 4.2 Setting Rele Diferensial Busbar

### 4.2.1 Setting Arus Pick Up

Setting  $I_{Pick Up}$  (IPU) dilakukan dengan memperhatikan error CT,  $I_D$  (ID) pada saat kondisi normal di Gardu Induk Sanur, dan margin (faktor keamanan) dengan kriteria sebagai berikut:

1. Error CT sebesar 10% dengan CT class 10P20
2.  $I_{DIF}$  kondisi normal pada busbar A sebesar 0,13 A atau 2,6% dari arus nominal, dimana arus nominal rele yang digunakan adalah 5 A.
3. Margin (faktor keamanan) diasumsikan 5%

$$I_{PickUp} =$$

$$(Error CT + I_{DIF} \text{ kondisi normal} + margin) I_{nominal}$$

$$I_{PickUp} = (10\% + 2,6\% + 5\%) I_{nominal} = (17,6\%) \times 5 A = 0,88 A$$

Setting arus pickup pada busbar B dilakukan dengan cara yang sama dengan

busbar A. *Setting* arus *pickup* pada busbar B diperoleh sebesar 1,046A

#### 4.2.2 **Setting Slope 1**

*Setting slope* 1 dilakukan dengan *setting range* 15%-100% dan *step* 1%. *Setting slope* 1 memperhatikan arus diferensial dan arus *restain* saat terjadi gangguan didalam zona proteksi busbar. *Setting slope* pada busbar A memperhatikan arus diferensial dan arus *restain* saat terjadi gangguan di busbar A, dimana pada saat terjadi gangguan pada busbar A, arus diferensial busbar A bernilai 8,563 A dan arus *restain* 6,118 A. *Slope* 1 di-*setting* 30% dari arus *restain* saat terjadi gangguan pada busbar A untuk menghindari rele salah kerja akibat arus diferensial yang kecil dan tidak di-*setting* terlalu besar untuk mempertahankan sensitifitas rele saat terjadi gangguan di busbar A. syarat agar rele bekerja adalah:

$$\begin{aligned} I_D &\geq k I_{restain} \\ I_D &\geq (30\%) 6,118 A \\ I_D &\geq 1,836 A \end{aligned}$$

$I_D$  saat terjadi gangguan pada busbar A bernilai 8,563 A, maka memenuhi syarat untuk rele bekerja  $8,563 A \geq 1,836 A$ , sehingga dapat dipastikan rele akan bekerja saat terjadi gangguan pada busbar A.

*Setting slope* pada busbar B dilakukan dengan cara yang sama seperti busbar A dan dari hasil perhitungan yang telah dilakukan, *setting slope* dipilih sebesar 30%

#### 4.2.3 **Setting Break Point (BP)**

*Break point* di-*setting* lebih rendah dari nilai arus *restain* saat terjadi gangguan pada busbar A maupun busbar B. Nilai arus *restain* pada busbar A saat terjadi gangguan pada busbar A adalah 6,118 A. Nilai arus *restain* pada busbar B saat terjadi gangguan pada busbar B adalah 6,118 A. *Setting BP* pada kedua busbar dipilih sebesar 6 A.

#### 4.2.4 **Setting Slope 2**

*Slope* 2 dapat di-*setting* dengan *setting range* 50%-200% dengan *step* 1%. *Slope* 2 di-*setting* lebih tinggi dari *slope* 1 ( $I_{D2} > I_{D1}$ ) untuk menghindari rele diferensial salah bekerja karena gangguan diluar zona proteksi dengan arus yang tinggi. *Setting slope* 2 yang dipilih untuk kedua busbar adalah 135% dari arus

*restain* pada kondisi gangguan didalam zona proteksi masing-masing busbar. *Setting slope* yang tinggi dipilih dengan pertimbangan agar rele diferensial tidak bekerja saat terjadi gangguan diluar zona proteksi namun tetap bekerja saat terjadi gangguan didalam zona proteksi busbar. Arus *restain* saat terjadi gangguan pada zona proteksi busbar A maupun busbar B adalah 6,118 A. Syarat rele bekerja adalah sebagai berikut:

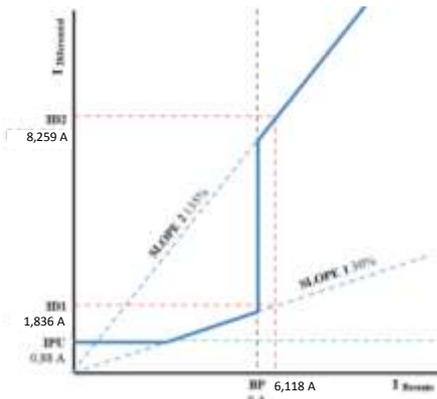
$$\begin{aligned} I_D &\geq k I_{restain} \\ I_D &\geq (135\%) 6,118 A \\ I_D &\geq 8,259 A \end{aligned}$$

$I_D$  tertinggi saat terjadi gangguan diluar zona proteksi busbar A adalah saat terjadi gangguan pada transformator 1 dimana  $I_D$  bernilai 7,96 A.  $I_D$  saat terjadi gangguan pada transformator 1 tidak memenuhi syarat rele bekerja karena  $I_D < k I_{restain}$  ( $7,96 < 8,259$ ), sehingga rele tidak akan bekerja saat terjadi gangguan diluar zona proteksi busbar A.  $I_D$  saat terjadi gangguan pada busbar A bernilai 8,563 A, maka memenuhi syarat untuk rele bekerja  $8,563 A \geq 8,259 A$ , sehingga rele akan tetap bekerja saat terjadi gangguan didalam zona proteksi busbar A.

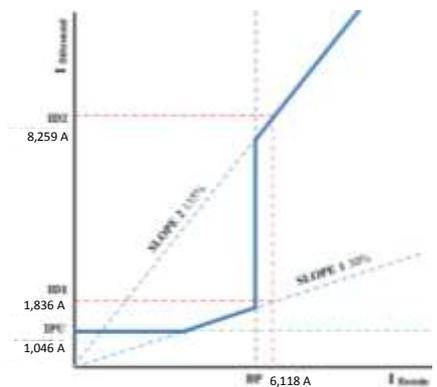
Arus diferensial tertinggi saat terjadi gangguan diluar zona proteksi busbar B adalah saat terjadi gangguan pada transformator 4 dimana  $I_D$  bernilai 7,96 A.  $I_D$  saat terjadi gangguan pada transformator 4 tidak memenuhi syarat rele bekerja karena  $I_D < k I_{restain}$  ( $7,96 A < 8,259 A$ ), sehingga rele tidak akan bekerja saat terjadi gangguan diluar zona proteksi busbar B.  $I_D$  saat terjadi gangguan pada busbar B bernilai 8,563 A, maka memenuhi syarat untuk rele bekerja  $8,563 A \geq 8,259 A$ , sehingga rele akan tetap bekerja saat terjadi gangguan pada busbar B.

#### 4.2.5 **Kurva Karakteristik Setting Rele Diferensial**

Kurva karakteristik *setting* rele diferensial busbar A dan busbar B secara berturut-turut dapat dilihat pada gambar 4.3 dan gambar 4.4.



Gambar 4.3 Kurva karakteristik setting rele diferensial busbar A



Gambar 4.4 Kurva karakteristik setting rele diferensial busbar B

#### 4.2.6 Setting Waktu kerja rele

Setting waktu rele diferensial dilakukan dengan memperhatikan hal-hal sebagai berikut:

1. Karakteristik waktu kerja rele yang digunakan adalah *instantaneous relay*, dimana pada karakteristik ini waktu tunda rele adalah 0 detik.
2. Arus gangguan yang digunakan untuk setting rele diferensial pada busbar adalah arus gangguan 3 fasa.

Setting waktu rele diferensial dapat dihitung dengan persamaan 3.

$$t = \frac{0,14}{\left(\frac{I_f}{I_{set}}\right)^{0,02} - 1} \times t_d \quad (3)$$

Bus A

$$t = \frac{0,14}{\left(\frac{9784}{0,8855}\right)^{0,02} - 1} \times 0$$

$$t = 0 \text{ detik}$$

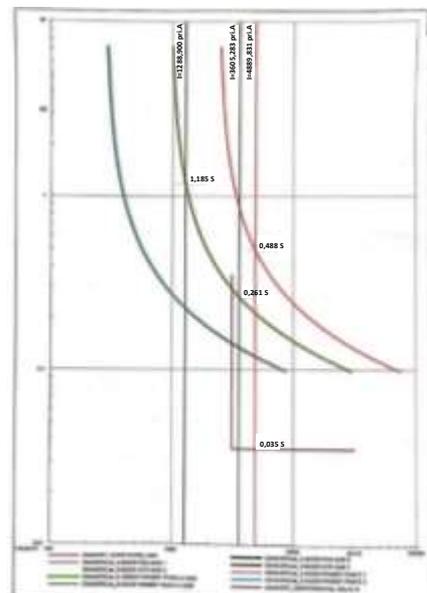
Bus B

$$t = \frac{0,14}{\left(\frac{9784}{1,05225}\right)^{0,02} - 1} \times 0$$

#### 4.3 Perbandingan Kinerja OCR pada Kondisi Eksisting dengan Rele Diferensial yang Dirancang

*Over Current Relay* untuk mengamankan busbar pada kondisi saat ini terletak pada kopel busbar dan disetting dengan arus *pickup* 1,2 A dengan rasio CT 2000/1 A. OCR baru akan bekerja ketika arus sekunder CT kopel melebihi nilai 1,2 A atau terjadi aliran arus pada kopel lebih dari 2400 A. Arus gangguan pada busbar yang kurang dari 2400 A tidak akan menyebabkan OCR bekerja dan OCR tidak akan mengidentifikasinya sebagai gangguan. Kinerja seperti ini membuat OCR bekerja kurang sensitif.

Grafik perbandingan kinerja OCR pada kondisi saat ini dengan rele diferensial saat terjadi gangguan didalam zona proteksi yaitu pada busbar B ditunjukkan oleh gambar 4.5, sedangkan saat terjadi gangguan diluar zona proteksi yaitu pada *line* Gianyar 1 ditunjukkan oleh gambar 4.6 yang diperoleh dari simulasi menggunakan *software* komputer. Sumbu x pada grafik menunjukkan arus gangguan pada sisi primer CT dengan satuan ampere (A) dan sumbu y pada grafik menunjukkan waktu yang diperlukan untuk rele melakukan *tripping*.



Gambar 4.5 Grafik perbandingan OCR dan Rele Diferensial saat Gangguan di Busbar B

Gambar 4.5 menunjukkan bahwa karakteristik setting waktu OCR yang diterapkan adalah karakteristik *standard inverse*. Gangguan yang terjadi pada busbar B, menyebabkan OCR pada *line*

Pesanggran 1 dan Pesanggran 2 akan beroperasi dengan waktu 0,261 detik, serta OCR pada kopel busbar 0,488 detik setelah terjadi gangguan. OCR pada Gianyar 1 merasakan gangguan yang terjadi namun tidak bekerja karena *line* Gianyar 1 berada pada busbar A yang telah terpisah dari busbar B 0,488 detik setelah terjadi gangguan, sedangkan untuk men-tripkan PMT Gianyar 1 diperlukan waktu 1,185 detik. OCR pada Gianyar 2 beroperasi dengan waktu 1,185 detik. Total waktu yang dibutuhkan OCR untuk mengisolir gangguan pada busbar B adalah 1,185 detik. Waktu kerja OCR kurang cepat dikarenakan penerapan waktu tunda tertentu.

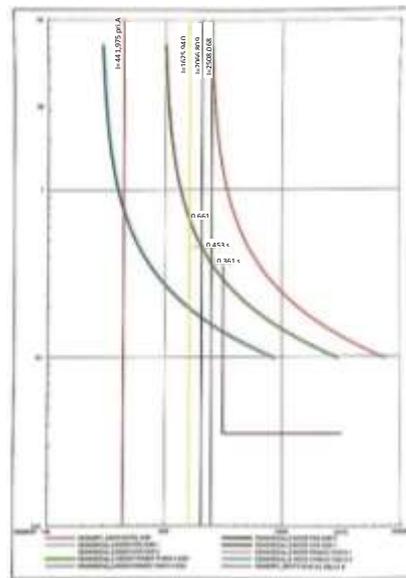
Skenario sistem proteksi kondisi saat ini juga dapat dikatakan kurang selektif, ketika terjadi gangguan pada busbar B, terdapat PMT *line* transmisi pada busbar A yang di trip-kan yaitu *line* Pesanggran 1. Sistem proteksi busbar yang baik harus dapat melakukan *tripping* secara selektif dimana ketika terjadi gangguan pada busbar B hanya PMT peralatan pada busbar B yang di trip-kan sehingga aliran daya pada busbar A tidak terganggu.

Rele diferensial bekerja tidak bergantung pada besaran arus yang melewati kopel busbar. Rele diferensial akan membandingkan arus yang masuk dan keluar pada busbar yang dilindungi dan akan bekerja apabila arus diferensial serta arus restainnya berada pada daerah *operating region* pada kurva karakteristik rele diferensial.

Rele diferensial bekerja dengan memberi sinyal trip seketika kepada PMT di semua bay yang terhubung pada busbar yang dilindungi, sehingga ketika terjadi gangguan pada salah satu busbar, PMT di semua bay pada busbar tersebut akan trip pada waktu yang sama, sedangkan PMT pada busbar lain tidak akan trip sama sekali. Skema proteksi seperti ini akan membuat rele diferensial lebih selektif dibandingkan OCR pada kondisi saat ini.

Gambar 4.5 menunjukkan karakteristik waktu kerja yang diterapkan pada rele diferensial busbar B adalah karakteristik *instantaneous relay*. Saat terjadi gangguan di busbar B, rele diferensial hanya memerlukan waktu 0,035 detik untuk mentripkan seluruh PMT di semua bay yang terhubung pada busbar B. Kecepatan operasi proteksi memiliki

dampak yang signifikan terhadap kerusakan yang timbul akibat gangguan hubung singkat. Semakin cepat proteksi beroperasi, semakin kecil bahaya kerusakan peralatan dan *stress thermal* yang terjadi [11]. Rele diferensial beroperasi lebih cepat dibandingkan OCR, sehingga dengan penerapan rele diferensial sebagai pengaman busbar menjadikan busbar lebih aman, karena bahaya kerusakan peralatan dan *stress thermal* yang terjadi akibat gangguan di busbar akan semakin kecil.



Gambar 4.6 Grafik perbandingan OCR dan Rele Diferensial saat Gangguan di *Line* Transmisi Gianyar 1

Gambar 4.6 menunjukkan bahwa saat terjadi gangguan pada *line* Gianyar 1, arus gangguan yang terjadi belum melewati *setting* arus OCR maupun *setting*  $I_D$  pada rele diferensial, sehingga keduanya sama-sama tidak bekerja. Gangguan yang terjadi pada *line* transmisi Gianyar 1 menyebabkan arus yang besar mengalir pada *line* Gianyar 1, Pesanggran 1 dan Pesanggran 2, namun gangguan yang terjadi mampu diisolir oleh OCR Gianyar 1 dengan waktu 0,361 detik, sehingga OCR pada *line* transmisi lainnya tidak sempat beroperasi.

## 5. KESIMPULAN

Telah berhasil dirancang rele diferensial sebagai pengaman busbar 150 kV di Gadu Induk Sanur dengan *setting* arus *pick up* 0,88 A untuk busbar A dan 1,046 A untuk busbar B, serta *breakpoint* 6

A, slope 1; 30% dan slope 2;135%, waktu kerja 0 detik untuk rele diferensial busbar A maupun busbar B. Rele diferensial yang dirancang dapat beroperasi lebih cepat dibanding OCR pada kondisi saat ini. Gangguan yang terjadi pada busbar B mampu diisolir dengan waktu 0,035 detik menggunakan rele diferensial, sedangkan OCR pada kondisi eksisting memerlukan waktu 1,185 detik. Rele diferensial terbukti dapat bekerja lebih sensitif, lebih selektif, dan lebih cepat dari OCR pada kondisi saat ini di Gardu Induk Sanur.

## 6. DAFTAR PUSTAKA

- [1] M. J. T. Manurung, "STUDI PENGAMAN BUSBAR 150 kV PADA GARDU INDUK SIANTAN," *Tek. Elektro Fak. Tek. Univ. Tanjungpura*, 2012.
- [2] Dwipa, I. K. R. B. C., Arjana, I. G. D., & Partha, C. G. I. (2019). STUDI Proteksi Double Busbar Akibat Penambahan Transformator Di Gardu Induk Pemecutan Kelod. *Jurnal SPEKTRUM*, vol.6, no.4, 110-117.
- [3] S. F. Bush, "Distribution Automation," in *Distribution Automation Handbook*, 2014, pp. 301–331.
- [4] Udiana, A.B., Arjana, I. G. D., & Partha, C. G. I. (2017). Studi Analisis Koordinasi Over Current Relay (OCR) dan Ground Fault Relay (GFR) pada Recloser di Saluran Penyulang Penebel. *Majalah Ilmiah Teknologi Elektro*, vol.16, no.2, 37-42.
- [5] PT.PLN(Persero), *Buku Pedoman Proteksi dan Kontrol Busbar*. Jakarta, 2014.
- [6] Purnawan, I. M. D., Arjana, I. D., & Rinas, I. W. (2016). 'Studi pengaman busbar pada gardu induk amlapura'. *Majalah Ilmiah Teknologi Elektro*, vol.15, no.1, 38-41.
- [7] N. Y. Lae and C. C. Khaing, "Design and Results of Differential Relay Settings for Power Transformers 80MVA, 40MVA and 100MVA," *Int. J. Sci. Eng. Technol. Res.*, vol. 2, pp. 32–34, 2019.
- [8] M. Rajendran and V. Perumal, "Saturation Analysis on Current Transformer," *Int. J. Pure Appl. Math.*, vol. 118, no. 18, pp. 2169–2176, 2018.
- [9] K. Shah, "Low Impedance Differential Protection Relay Settings for Transformer Differential," *Int. J. Adv. Res. Electr. Electron. Instrum. Eng.*, vol. 7, no. 5, pp. 2501–2510, 2018.
- [10] IEEE, "Guide for Protective Relay Applications to Power Sistem Buses," 2009.
- [11] Bush. (2014) DISTRIBUTION AUTOMATION HANDBOOK. *Finland. ABB*