

ANALISIS SISTEM PENGAMAN BACKUP UNTUK MENGAMANKAN BUSBAR 150 Kv TERHADAP GANGGUAN DI GIS PECATU

I Nyoman Wardana¹, I Gede Dyana Arjana², Cok. Gede Indra Partha²

¹Program Studi Teknik Elektro Fakultas Teknik, Universitas Udayana
nyoman3898@gmail.com¹, dyanajarjana@unud.ac.id², cokindra@unud.ac.id³

ABSTRAK

Kebutuhan daya yang tinggi di daerah Badung khususnya Pecatu dan Nusa Dua mengakibatkan diperlukannya pembangunan GIS untuk menambah pasokan daya. GIS Pecatu menggunakan *double* busbar dengan OCR sebagai pengaman cadangannya, apabila salah satu busbar terjadi kendala dan tanpa adanya rele proteksii yang mampu mengamankan busbar tersebut, maka akan mengakibatkan kontinuitas terganggunya aliran daya.

Pada penelitian ini dilakukan analisis *setting* rele busbar serta *setting* proteksii yang sesuai sebagai acuan pada sistem proteksii di GIS Pecatu. Hasil perhitungan *setting* arus diperoleh nilai arus kerja (*Iset*) OCR sebesar 1339 A dan (*Iset*) GFR 223 A dan waktu tunda 0,53 detik, waktu kerja aktual rele 0,35 *Standard Inverse*, dan nilai arus gangguan hubung singkat berdasarkan data PLN 11.58 kA dan berdasarkan hasil simulasi didapat 11.46 kA dengan presentase kesalahan sebesar 0,12%.

Kata kunci : Busbar, *Short Circuit*, OCR, GFR

ABSTRACT

High power needs in badung area, especially Pecatu and Nusa Dua resulted in the need for GIS development to increase power supply. GIS Pecatu uses a double busbar with OCR as its *Backup* safety, if one of the busbars is disrupted and there is no protection rele that secures the busbar, it will result in continuous power flow is disrupted.

In this study, an analysis of the rele busbar *setting* and the appropriate protection *setting* as a reference protection system in GIS Pecatu. The results of the calculation of current *setting* obtained the working current value (*Iset*) OCR of 1339 A and (*Iset*) GFR 223 A and delay time 0.53 seconds, actual working time rele 0.35 *Standard Inverse*, and the value of short circuit interference current calculation from PLN 11.58 kA and based on simulation results obtained 11.46 kA with a percentage of errors of 0.12%.

Key Words : Busbar, *Short Circuit*, OCR, GFR

1. PENDAHULUAN

Kebutuhan daya yang tinggi di daerah Badung khususnya Pecatu dan Nusa Dua berdampak pada dibutuhkannya pembangunan GIS untuk menambah pasokan daya. GIS (*Gas Insulated Switchgear*) merupakan sistem penghubung dan pemutus jaringan listrik yang dikemas dalam sebuah tabung nonferro dan menggunakan gas sulphurhexafluoride (SF₆) sebagai media isolasinya dan menjadi salah satu klasifikasi gardu induk yang menggunakan isolasi gas. GIS Pecatu yang terletak di Desa Pecatu, Kuta Selatan, Kabupaten

Badung, Provinsi Bali ini dibangun untuk membantu mensuplai daya sebesar 120 MW di daerah Nusa Dua karena beban yang ditanggung oleh transformator GI Nusa Dua setiap tahun selalu meningkat dari tahun 2018 – 2020 yaitu 113,38 A, 121,95 A, dan 139,09 A [5]. Pengaman busbar adalah sistem pengaman yang berperan penting dalam mengamankan gangguan yang terjadi pada busbar. Dimana dalam pengoperasian busbar harus bekerja secara *sensitif*, *selektif*, dan dapat bekerja cepat dengan komponen yang meliputi, trafo arus (CT) / trafo tegangan (PT), *relay* pengaman, pemutus

tenaga (*PMT*), dan pemisah (*PMS*). *Backup* pengaman yang bekerjasama dengan kopel berfungsi untuk memindahkan aliran daya. *CT* dan *PT* memberi inputan ke *relay* sehingga *relay* mampu bekerja dengan sempurna dan penyaluran tenaga listrik dapat dilakukan secara kontinyu.

GIS Pecatu dengan konfigurasi *double busbar*, menyalurkan energi listrik dari bandara Ngurah Rai ke *GIS* Pecatu dan dari *GI* Nusa Dua ke *GIS* Pecatu. Pengaman *backup* busbar yang digunakan adalah *relay* arus lebih atau *OCR* (*Over Current Relay*) digunakan untuk mengamankan busbar dari gangguan kelebihan arus atau hubung singkat yang terjadi saat penyaluran tenaga listrik menuju gardu induk, jika terjadi gangguan pada busbar, maka dapat mengakibatkan pemadaman pada busbar ataupun beban yang ditanggung oleh busbar. *GIS* Pecatu mempunyai 2 unit transformator tenaga dengan masing - masing kapasitas 60 MVA yang digunakan untuk mensuplai beban di daerah Pecatu dan Nusa Dua [7] [8]

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Gas insulated substation (GIS)

GIS adalah penghubung sekaligus pemutus jaringan listrik. Sulfur Hexafluoride (*SF6*) merupakan gas bertekanan yang digunakan pada *GIS*.

2.2 Busbar

Busbar ialah konduktor seperti logam jenis tembaga (*Cu*) atau aluminium (*Al*) yang berbentuk persegi panjang dengan ukuran tertentu yang memiliki fungsi untuk menghantarkan listrik antara *feeder*, *incomer*, dan komponen listrik lainnya dalam panel listrik. Pengaman busbar meliputi transformator arus (*CT*), *relay* pengaman, pemutus tenaga (*PMT*), catu daya serta rangkaian pengawatannya. [8]

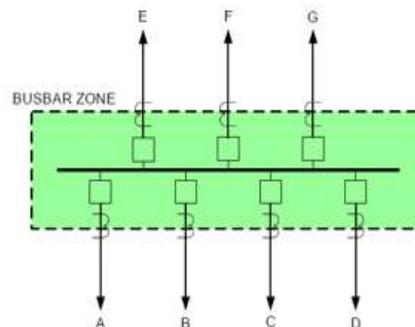
Sistem pengaman pada busbar harus memenuhi persyaratan sebagai berikut :

- a. Kecepatan. Operasi sistem pengaman yang tertunda dapat mengakibatkan meluasnya gangguan. Oleh karena itu,

kecepatan suatu sistem pengaman sangat diperlukan .

- b. Keandalan/Selektivitas. *Relay* pengaman pada busbar harus bersifat selektif untuk melakukan pemilihan *tripping* dengan tepat.
- c. Keamanan: Pengaman busbar harus stabil selama gangguan eksternal. Apabila terjadi gangguan dengan arus yang besar dapat menyebabkan ketidak linearan arus sisi sekunder *CT* pada arus primer dan memungkinkan terjadi kesalahan kerja *relay* .

Daerah kerja pengaman busbar meliputi daerah diantara semua trafo arus (*CT*) bay yang terhubung dengan busbar. Apabila ada gangguan didalam area pengamanannya (area warna hijau) yang seperti diperlihatkan pada gambar 1, maka sistem pengaman busbar harus dijalankan tanpa ditunda (*instantaneous*), namun jika gangguan terjadi diluar area, maka sistem pengaman busbar tidak dapat dijalankan atau tidak trip. Hal ini berarti *relay* harus stabil dan tetap mengalirkan listrik ke saluran.



Gambar 1. Daerah Pengaman Busbar

2.3 Arus Hubung Singkat

Arus hubung singkat dapat terjadi sebagai akibat dari adanya gangguan dari luar maupun dari dalam jaringan. Sebelum menghitung nilai gangguan, perlu diketahui nilai impedansi dari sumber dan trafo.

Impedansi sumber dapat dihitung menggunakan rumus berikut [9] :

$$Z_{hs} = \frac{V_p \times 1000}{\sqrt{3} \times I_f} \dots\dots\dots(1)$$

Untuk menghitung nilai impedasi digunakan rumus berikut [9] :

$$Z_{tr} = \frac{V_p^2 \times Z_t}{s}$$

.....(2)

2.3.1 Gangguan Hubung Singkat

Gangguan hubung singkat ialah gangguan yang dapat terjadi akibat dari adanya hubungan atau sentuhan antar fasa atau fasa dengan tanah secara langsung tanpa melalui resistor/beban, sehingga menyebabkan terjadinya aliran arus yang tidak normal.

Gangguan hubung singkat dapat diklasifikasi menjadi dua bentuk, meliputi gangguan hubung simetri dan asimetri. Gangguan hubung simetri ialah gangguan yang terjadi pada semua fasa sehingga menyebabkan keseimbangan pada arus maupun tegangan pada setiap fasa setelah terjadi gangguan [1]. Sedangkan, gangguan hubung asimetri adalah gangguan hubung singkat yang tidak berimbang pada ketiga fasa sehingga menyebabkan ketidakseimbangan pada arus yang mengalir pada tiap fasa [1].

2.4 Sistem Pengaman Tenaga Listrik

Sistem pengaman tenaga listrik ialah suatu sistem yang bertugas untuk mengidentifikasi gangguan yang terjadi pada peralatan tenaga listrik serta memisahkan bagian sistem yang mengalami gangguan dan normal [4].

Berdasarkan hal tersebut, maka sistem pengaman dapat dibagi menjadi dua bagian, yakni [4] : (1) pengaman utama yang merupakan pengaman terpenting pada daerah yang dilindungi sekaligus menjadi pengaman utama apabila terjadi gangguan; (2) pengaman cadangan merupakan pengaman dengan batas tertentu dan cenderung lebih lambat dari pengaman utama.

2.4.1 Penyebab Gangguan Sistem Tenaga Listrik

Terdapat dua faktor yang menjadi sumber gangguan sistem tenaga listrik meliputi faktor *internal* dan *eksternal*. Adapun faktor *internal* antara lain : 1) Tegangan dan arus normal; 2) Pemasangan yang kurang baik; 3) Umur

peralatan; 4) Beban berlebih; 5) Kerusakan material [2].

Adapun faktor *eksternalnya* meliputi [2].: 1) Gangguan-gangguan mekanis; 2) Pengaruh cuaca; 3) Pengaruh lingkungan. Dilihat dari rentang waktu terjadinya, gangguan dibagi ke dalam dua kelompok yaitu, pertama, gangguan *Transient* (temporer) yakni gangguan yang dapat diatasi sendiri dengan memutuskan sementara bagian yang terganggu. Kedua, gangguan permanen yakni gangguan yang tidak dapat dihilangkan atau bersifat tetap.

2.5 Syarat Pengaman

Kestabilan pengaman dalam operasional harus memenuhi persyaratan sebagai berikut [4] : 1) cepat; 2) selektif; 3) sensitive; 4) andal; 5) sederhana; 6) ekonomis.

2.6 Sistem Pengaman Busbar

Pengaman busbar ialah sebuah sistem pengaman yang berperan penting dalam mengamankan gangguan yang terjadi pada busbar. Pada G/S Pecatu, apabila terjadi gangguan pada salah satu busbar atau ada busbar yang tidak memiliki pengaman, maka dapat mengakibatkan terjadinya ketidakseimbangan sistem yang dapat mengganggu kontinuitas aliran daya.

2.7 Zona Proteksi

Zona proteksi ialah wilayah dalam menentukan bagian sistem tenaga listrik mana yang memerlukan pengamanan dari gangguan hubung singkat atau dikenal dengan *short circuit*. Zona ini dibuat bertujuan agar memperoleh tingkat selektifitas yang tinggi, dimana hanya bagian sistem yang terganggu saja yang disolasi (mengalami pemutusan). Adapun pembagian zona nya antara lain [2]. 1) Generator; 2) Transformator daya; 3) Bus-bar; 4) Transmisi, Sub-Transmisi dan Distribusi; 5) Beban.

Over lapping adalah pengamanan yang berfungsi menutupi apabila terjadi gangguan, yang diperlukan untuk menghindari kemungkinan daerah yang

tidak teramankan. Ketika suatu *relay* pengamanan gagal dalam menjalankan tugasnya, maka harus terdapat *relay* pengamanan kedua dalam mengantikan tugasnya.

2.8 Over Current Relay (OCR)

Over Current Relay adalah *relay* yang bekerja dengan input analog arus, dimana *relay* akan bekerja apabila mendeteksi gangguan diatas setingnya khususnya dalam gangguan fasa-fasa.

Menurut [5] OCR atau *relay* arus lebih dikategorikan menjadi 3, yaitu : 1)

- 1) *Instantaneous over-current relay*;
- 2) *Definite time over current relay*;
- 3) *Inverse time over current relay*.

2.8.1 Ground Fault (GFR)

Rele ini memiliki tugas dalam mengamankan gangguan hubung singkat fasa ke tanah. Arus gangguan fasa ke tanah dipengaruhi oleh pentanahan sistem [4].

2.9 Perhitungan Setting Arus dan Waktu Kerja Relay Arus Lebih dan Relay Gangguan ke Tanah

Syarat yang wajib diperhatikan dalam sebuah *setting relay* arus lebih adalah *relay* arus lebih tidak akan trip pada keadaan beban maksimum dan *relay* akan bekerja apabila terjadi arus gangguan minimum (full load < Iset < Ihs_{2φmin}) [4], sehingga *setting* arusnya [7] :

$$I_{set} \quad OCR = 1,2 \times I_{nom} \dots \dots \dots (3)$$

Untuk *setting* arus *relay* gangguan tanah :

$$I_{set} \text{ GFR} = 0.2 \times I_{nom} \dots \dots \dots (4)$$

Setelah diperoleh *setting* arus, guna memperoleh waktu kerja *relay* maka dicari nilai *tms* (time multiple *setting*):

$$tms = \frac{(\frac{I_f}{I_{set}})^\beta}{0,14} - 1 \dots \dots \dots (5)$$

Gangguan hubung singkat 3 Fasa terdiri dari Gangguan hubung singkat 3 Fasa 150 kV . Nilai gangguan hubung

singkat 3 Fasa 150 kV dapat dihitung sebagai berikut :

$$I_{3\phi (150)} = \frac{V_p \times 10^3}{\sqrt{3} \times (Z_{hs} + Z_{tr})} \dots \dots \dots (6)$$

Nilai Gangguan hubung singkat antar fasa 150 kV dapat dihitung dengan Persamaan

$$I_{\phi (150)} = \frac{\sqrt{3}}{2} \times I_{3\phi (150)} \dots \dots \dots (7)$$

Nilai Gangguan hubung singkat 1 fasa ke tanah dapat dihitung dengan Persamaan

$$I_{1\phi (150)} = \frac{V_s \times 1000}{\sqrt{3} \times NGR} \dots \dots \dots (8)$$

Keterangan :

Inom = nilai nominal arus peralatan yang diamankan

Tms = *time Multiple Setting*

I_f = arus gangguan hubung singkat

t = waktu kerja *relay*

α = nilai koefisien *relay* yang digunakan

β = nilai koefisien *relay* yang digunakan

Setelah didapat waktu kerja *relay*, selanjutnya dicari waktu tunda *relay* dihitung menggunakan persamaan :

$$T_d = \frac{(\frac{I_{hs1fs}}{I_{set}})^{0,02}}{0,14} - 1 \times t \dots \dots \dots (9)$$

Ket :

I_{hs1fs} = Arus hubung singkat 1 fasa

Iset = Setting arus

t = waktu kerja *relay*

Tabel 1. Karakteristik Relay OCR

Tipe	α	β	σ
Standar Inversee	0,14	0,02	1
Very Inversee	13,5	1	1
Extremely Inversee	80	2	1

3. METODOLOGI PENELITIAN

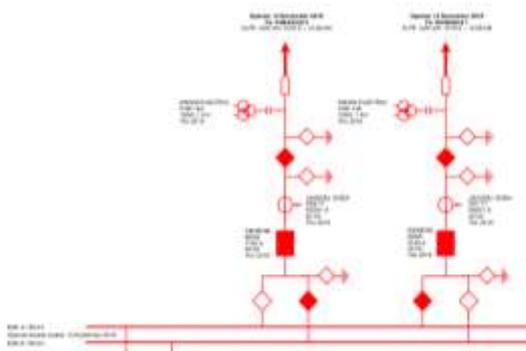
3.1 Tahapan Penelitian

Tahapan penelitian yang dapat ditempuh meliputi :

1. Data-data yang diperlukan dapat berupa *single line* diagram, parameter peralatan – peralatan di GIS Pecatu, data beban puncak, serta data *setting OCR* pada kondisi saat ini di GIS Pecatu.
2. Melakukan pemodelan sistem transmisi dari GIS Pecatu menuju GI Nusa Dua dan GI Bandara.
3. Melakukan Simulasi *Short Circuit* dengan metode *Newton Raphson*.
4. Menghitung setting arus *backup relay OCR (Over Current Relay)* di GIS Pecatu dengan menggunakan persamaan (2.3).
5. Pembuatan Kurva karakteristik *relay Standar Inverse*.
6. Melakukan simulasi *short circuit* menggunakan software komputer untuk mengetahui reaksi *backup relay* terhadap setting yang diberikan saat terjadi gangguan.
7. Melakukan analisis parameter *setting backup relay OCR*.
8. Memastikan bahwa *setting backup relay* sudah sesuai dengan karakteristik relay standar *inverse*.
9. Melakukan analisis *Setting backup relay OCR* pada kondisi saat ini di GIS Pecatu menggunakan pemodelan pada *software* komputer.
10. Kesimpulan

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Gambaran Umum GIS Pecatu



Gambar 2. Upcoming GIS Pecatu

GIS Pecatu dengan konfigurasi *double busbar*, menyalurkan energi listrik dari bandara Ngurah Rai ke GIS Pecatu dan dari GI Nusa Dua ke GIS Pecatu. Pengaman *backup busbar* yang digunakan adalah *relay* arus lebih atau *OCR (Over Current Relay)* berfungsi untuk mengamankan busbar dari gangguan kelebihan arus atau hubung singkat yang dapat terjadi saat penyaluran tenaga listrik menuju gardu induk.

4.2 Data – Data Teknis yang Diperlukan dalam Penelitian

4.2.1 Data Arus pada Busbar 1 & 2 Pada GIS Pecatu

Tabel 2. Spesifikasi busbar berdasarkan data PLN

Busbar	Merk	Inom (A)	Setting OCR Bus Kopel 150 KV (A)
Busbar 1	SIEMENS/SDN9	1116	4800
Busbar 2	SIEMENS/SDN9	1116	4800

4.2.2 Data Grounding pada Busbar GIS Pecatu

Tabel 3. Spesifikasi *earthing switch* di GIS Pecatu 2021

Nama Grounding	Merk	Resistansi Ω
Grounding Busbar 1	SIEMENS	40
Grounding Busbar 2	SIEMENS	40

(Sumber : PT. PLN (Persero),2017)

4.2.3 Arus Gangguan dan Rele Pengaman

Peralatan pengaman pada GIS Pecatu yang digunakan adalah *Over Current Relay (OCR)*. Rele pengaman tersebut perlu dihitung koordinasi peralatan agar dapat menunjukkan perintah *trip* pada *tripping coil* dalam membuka *PMT* pada waktu terjadinya

gangguan hubung singkat. *Setting* rele pengaman pada proses perhitungan terlebih dahulu harus mengetahui kapasitas tegangan di busbar, kapasitas trafo arus di GIS Pecatu, data penghantar 150 kV, dan kapasitas arus hubung singkat 150 kV di GIS Pecatu. Data kapasitas arus hubung singkat pada penghantar 150 kV GIS Pecatu dapat dilihat pada tabel 4.

Tabel 4. Data nilai arus hubung singkat pada busbar 150 kV GIS Pecatu 2021

Busbar	If1ph Bus (kA)	If3ph Bus (kA)
Busbar 1	9,28	11.58
Busbar 2	9,28	11.58

Sumber: PT.PLN (Persero)

4.3 Perhitungan *Setting* Arus Proteksi OCR (*Over Current Relay*)

Perhitunggan *setting* proteksii busbar berdasarkan pada instruksi manual yang meliputi jenis dan karakteristik rele tersebut, *setting* proteksi OCR (*Over Current Relay*) dapat dihitung sebagai berikut :

$$\begin{aligned} I_{set\ OCR} &= 1,2 \times I_{nom} \\ I_{set\ OCR} &= 1,2 \times 1116 \\ &= 1339 \text{ A} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} I_{set\ GFR} &= 1,2 \times I_{nom} \\ I_{set\ GFR} &= 1,2 \times 186 \\ &= 223 \text{ A} \end{aligned}$$

4.3.1 Arus Kerja

GIS Pecatu terkoneksi dengan Gardu Induk Nusa Dua, GIS Bandara dan beban yang ditanggung oleh GIS Pecatu. Tercatat bahwa arus nominal yang mengalir pada GIS Pecatu pada tiap busbar dapat dihitung dengan persamaan $I_{set} = 1,1 \times I_n$ sehingga di dapat perhitungan arus:

Busbar 1:

$$I_n = 1116 \text{ A}$$

$$I_{set} = 1,1 \times I_n$$

$$I_{set} = 1,1 \times 1116$$

$$I_{set} = 1227 \text{ A}$$

Dari hasil perhitungan tersebut diatas dipilih *setting* I_{set} (arus kerja) dengan hasil 1227 A, dengan cara yang sama untuk mencari I_{set} (arus kerja) pada busbar 2 GIS Pecatu dapat dilihat pada tabel 5 sebagai berikut :

Tabel 5. Hasil perhitungan *setting* arus kerja pada tiap usbar di GIS Pecatu

No.	Komponen Busbar	I_{set} (A)
1	Busbar 1	1227
2	Busbar 2	1227

4.3.2 Waktu Kerja

Waktu tunda yang ditetapkan adalah 1,5 detik (PT. PLN (Persero),2017) jika terjadi gangguan dekat busbar, maka rele penghantar diberi kesempatan terlebih dahulu. *Time dial* (T_d) untuk kurva *standar inverse* didapatkan melalui persamaan (2.9)

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

$$T_d = \frac{\left(\frac{11580}{1227}\right)^{0,02} - 1}{0,14} 1,5$$

$$T_d = 0,53 \text{ detik}$$

Dari hasil perhitungan tersebut diatas, dapat diperoleh waktu kerja (T_d) dengan hasil 0,53 detik, dengan cara yang sama untuk mencari waktu kerja (T_d) pada busbar 2 di GIS Pecatu dapat dilihat pada tabel 6 sebagai berikut:

Tabel 6. Hasil perhitungan *setting* waktu kerja pada tiap busbar di GIS Pecatu

No.	Busbar 150 kV	TD (s)
1	Busbar 1	0,53
2	Busbar 2	0,53

Selanjutnya dalam menentukan nilai *TMS* (*Time Multiple Setting*) dapat menggunakan persamaan rumus sebagai berikut (2.5)

$$tms = \frac{(I_{hs3\phi})^\beta}{I_{set}^{0,14}} - 1$$

$$tms = \frac{(\frac{11580}{1227})^{0,02}}{0,14} - 1$$

$$tms = 0,35 \text{ SI}$$

Dari hasil perhitungan diperoleh nilai *TMS* (*Time Multiple Setting*) senilai 0,35 SI, maka didapat nilai *TMS* busbar 2 sebagai berikut.

Tabel 7. Hasil perhitungan *Time Dial* pada tiap busbar GIS Pecatu

No.	Nama Busbar 150 kV	tms (SI)
1	Busbar 1	0,35
2	Busbar 2	0,35

4.4 Analisis Kondisi Eksisting Pengaman Backup Busbar 150kV Menggunakan Rele OCR di GIS Pecatu

Rele proteksi cadangan yang digunakan untuk mengamankan busbar 150 kV di GIS Pecatu pada kondisi *eksisting* adalah Rele OCR. Data teknis yang diterapkan pada Rele OCR untuk mengamankan busbar 150 kV di GIS Pecatu dapat dilihat pada tabel 8

Tabel 8 Kondisi *Eksisting* pengaman Backup busbar 150 Kv

Nama Busbar	Karakteristik Relay OCR	Days (MW)	Time Multiple Setting (SI)	Time Dial (s)
Busbar 1	Standar Inverse	11,59	0,35	0,53
Busbar 2	Standar Inverse	8,13	0,35	0,53

4.4.1 Perhitungan Arus Hubung Singkat 3 Fasa, 2 Phaa, dan 1 Phasa ke Tanah

Impedansi sumber dapat dihitung dengan data hubung singkat pada bus primer menggunakan Persamaan (2.1)

$$Z_{hs} = \frac{V_p \times 1000}{\sqrt{3} \times I_f} = \frac{150 \times 1000}{\sqrt{3} \times 21.16} = 4098 \Omega$$

Perhitungan Impedansi yang telah digunakan yakni nilai reaktansinya, sedangkan tahanananya diabaikan karena nilainya kecil. Nilai reaktansi dari busbar dalam *Ohm* dapat dihitung dengan Persamaan (2.2)

$$Z_{tr} = \frac{V_p^2 \times Z_t}{S} = \frac{150^2 \times 11.58}{19,72} = 13.212 \Omega$$

Nilai Gangguan hubung singkat 3 Fasa 150 kV dapat dihitung dengan persamaan (2.6)

$$I_{3\phi(150)} = \frac{V_p \times 10^3}{\sqrt{3} \times (Z_{hs} + Z_{tr})} = \frac{150 \times 10^3}{\sqrt{3} \times (4098 + 13212)} = 11,269 \text{ A}$$

$$\% \text{ Kesalahan} = \frac{Y_{Data} - Y_{perhitungan}}{Y_{data}} \times 100\% = \frac{11580 - 11269}{11580} \times 100\% = 0,02\%$$

Dari hasil perhitungan diatas didapat nilai persentase kesalahan senilai 0,02%. Nilai gangguan hubung singkat antar fasa 150 kV dapat dihitung sebagai berikut:

$$I_{\phi(150)} = \frac{\sqrt{3}}{2} \times I_{3\phi(150)} = \frac{1,732}{2} \times 11.269 = 9758 \text{ A}$$

Nilai gangguan hubung singkat 1 fasa ke tanah dapat dihitung sebagai berikut.

$$\begin{aligned}
 I_{1\phi (150)} &= \frac{V_s \times 1000}{\sqrt{3} \times \text{NGR}} \\
 &= \frac{20 \times 1000}{1,732 \times 40} \\
 &= 288,68 \text{ A}
 \end{aligned}$$

4.4.2 Kurva Karakteristik Rele OCR

Berdasarkan pada nilai T_d (*Time dial*) dan nilai TMS (*Time Multiple Setting*), maka didapatkan kurva sebagai berikut:



Gambar 4. Perbandingan nilai *time dial* dengan *tms*

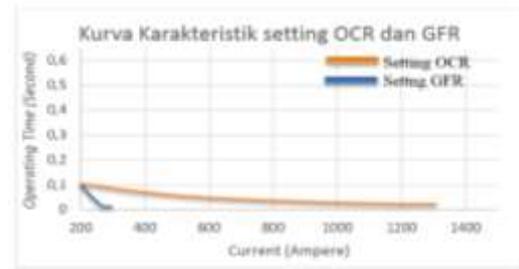
Berdasarkan gambar 4 dapat dilihat bahwa nilai T_d (*Time dial*) adalah 0,53 detik dan TMS (*Time Multiple Setting*) adalah 0,35 *SI*, hal ini sudah sesuai dengan karakteristik rele *OCR*. Koordinasi antara *Time Dial* dengan *time multiple setting* bekerja untuk mengamankan busbar dari gangguan kelebihan arus hubung 3 Fasa yang terjadi, waktu tunda menyebabkan *relay* tidak akan trip secara bersama-sama jika terjadi gangguan. Pada gambar 4 menunjukkan koordinasi pada *setting relay* sudah baik karena tidak ada perpotongan kurva antara T_d (*Time dial*) dan TMS (*Time Multiple Setting*).

Berdasarkan nilai arus gangguan 3 Fasa maka didapatkan kurva sebagai berikut.



Gambar 5 Kurva karakteristik *relay OCR* berdasarkan nilai gangguan 3 Fasa.

Berdasarkan gambar 5 bahwa kurva dapat dilihat bahwa nilai arus gangguan 3 Fasa senilai 11,58 kA dengan waktu tunda bernilai 0,53 detik . Hal ini sudah sesuai dengan karakteristik *relay OCR* standar *inverse*. Dari gambar 5 dapat dilihat bahwa *relay* akan bekerja dalam 0,35 *SI* saat terjadi gangguan sebesar 11,58 kA dan garis lurus merupakan waktu tunda ,hal ini membuktikan bahwa *relay OCR* akan langsung trip apabila nilai arus gangguan sudah memasuki nilai yang di *setting* sehingga tidak akan menyebabkan terhambatnya aliran daya dan semakin dekat dengan wilayah proteksi beban semakin cepat waktu kerja rele *OCR*.

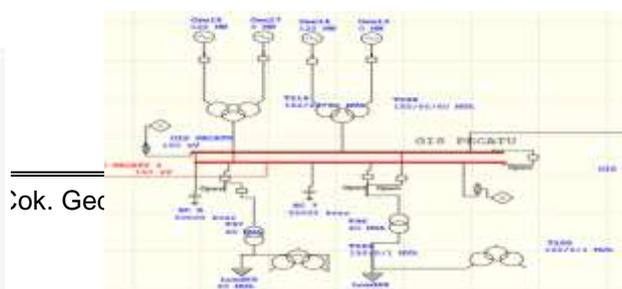


Gambar 6 Kurva karakteristik setting *OCR* dan *GFR*

Gambar 6 menunjukkan bahwa perbedaan nilai setting *OCR* 1339 A dan *GFR* 223 A, Pada gambar 6 dapat dilihat koordinasi *setting OCR* dan *GFR* sudah baik karena tidak terdapat perpotongan.

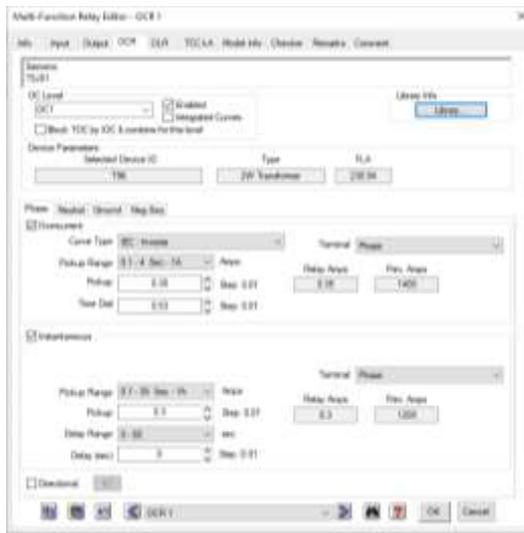
4.4.3 Simulasi *Short Circuit* 3 Fasa

Simulasi *short circuit* menggunakan *software* komputer untuk mengetahui reaksi *relay* dengan *setting* yang diberikan saat terjadi gangguan.



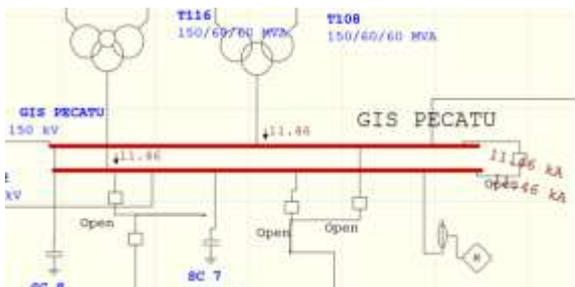
Gambar 7. Single Line simulasi pada software

Setelah mendapatkan hasil perhitungan *setting relay*, selanjutnya masukan nilai *setting relay* yang sudah dihitung pada rangkaian *single line* melalui aplikasi.



Gambar 8. Input data *setting relay* OCR

Pada gambar 8 dapat dilihat bahwa *setting* dimasukan pada tab *OCR* dengan nilai *Td* (*Time dial*) senilai 0,53 detik dan *TMS* (*Time Multiple Setting*) senilai 0,35 *SI*. Dengan *setting* yang *input* didapatkan nilai gangguan 3 Fasa yang dapat dilihat pada gambar 9



Gambar 9. Hasil simulasi *short circuit* 3 Fasa

Pada gambar 9 menunjukkan hasil simulasi didapatkan nilai arus gangguan 3 fasa pada busbar 1 dan 2 bernilai sama 11,46 kA. Presentase kesalahan dari hasil simulasi dengan hasil perhitungan dapat menggunakan persamaan berikut.

$$\%kesalahan = \frac{Y_{Data} - Y_{Simulasi}}{Y_{Data}} \times 100\%$$

$$\%kesalahan = \frac{11,58 - 11,46}{11,58} \times 100\%$$

$$= 0,12\%$$

Berdasarkan hasil perhitungan didapatkan presentase kesalahan sebesar 0,12% antara hasil simulasi dengan hasil perhitungan.

5. SIMPULAN

Berdasarkan pada hasil perhitungan dan pembahasan yang telah dilakukan sebelumnya maka dapat diperoleh simpulan sebagai berikut:

1. Berdasarkan perhitungan *setting* Rele Arus Lebih (*OCR*) pada sisi 150 kV waktu tunda rele bernilai 0,53 detik dan nilai waktu kerja aktual rele sebesar 0,35 *SI*. Karakteristik pada Rele Arus Lebih (*OCR*) yang dipakai adalah Standar *inverse*.
2. Sistem pengamanan *Backup* busbar menggunakan *relay OCR* sudah sesuai dengan karakteristik *SI* (*Standar Inverse*). Saat terjadi gangguan sebesar 11,58 kA relay akan langsung bekerja dalam 0,31 *SI*, hal ini membuktikan bahwa *relay OCR* akan langsung trip apabila nilai arus gangguan sudah memasuki nilai yang di *setting*

6. DAFTAR PUSTAKA

- 1) Dewangga, A. S 2015, *Studi koordinasi proteksi rele arus lebih, diferensial dan ground fault pada pt. linde indonesia*. Skripsi Teknik Elektro, Institut Teknologi Sepuluh November.
- 2) Dinata, Sricahya 2017, *Analisis Koordinasi Sistem Proteksi Relai Arus Lebih Pada Jaringan Distribusi di Pabrik KALTIM-1A PT. Pupuk Kalimantan Timur*. Skripsi Teknik Elektro, Universitas Muhammadiyah Yogyakarta.
- 3) Fauzi, A., Arjana, I. G. D., Partha, C. G. I 2020, 'Perancangan sistem pengaman busbar 150 KV menggunakan rele *diferensial* di gardu induk Sanur', *Jurnal SPEKTRUM*, vol. 7, no.2, pp. 101-108.
- 4) Laksana, I. P. D., Arjana, I. G. D., & Partha, C. G. I 2015, 'Studi analisis *setting Backup* proteksi pada SUTT 150 KV GI Kapal – GI Pemecutan Kelod akibat *uprating* dan penambahan saluran', *E-Jurnal SPEKTRUM*, vol. 2, no.4, pp. 1-6.
- 5) Pane, Z 2014, *Proteksi Sistem Tenaga Listrik*, Teknik Elektro Fakultas Teknik USU Medan.
- 6) Pratiwi, N. A. P. I., Arjana, I. G. D., & Weking, A. I. 2018. "Studi analisis kemampuan penyediaan suplai daya akibat peningkatan beban di gardu induk nusa dua". *e-Journal SPEKTRUM*, vol. 5, no.5, pp. 123-129.
- 7) PLN. Pelatihan Perhitungan Setelan Relai dan Scanning. Sidoarjo: Badan Penerbit PT. PLN (Persero) P3BJB Region Jawa Timur dan Bali.2006
- 8) PT.PLN (Persero) 2013, *Pedoman dan Petunjuk Sistem Proteksi Transmisi dan Gardu Induk Jawa Bali Edisi Pertama*.
- 9) PT.PLN (Persero) 2014, *Buku Pedoman Proteksi dan Kontrol Busbar, Proteksi dan Kontrol Busbar*. Jakarta.
- 10) Wiguna, . I. W. W. , Arjana, I. G. D., & Partha, C. G. I 2017, '*Analisis setting rele OGS sebagai sistem pengaman transformator 3 untuk menjaga kontinuitas aliran daya di gardu induk pesangaran*', *E-jurnal SPEKTRUM*, vol. 4, no.2, pp. 145-152.