

Analisis Sistem Koordinasi Proteksi *Over Current Relay (OCR)* Dan *Ground Fault Relay (GFR)* Tegangan 20 kV Bay Trafo Pada Gardu Induk Sanga-Sanga Kalimantan Timur

Sartha Thaha¹, Andi Wawan Indrawan², Yosua Januarius Pongkiding³

^{1,2,3} Jurusan Teknik Elektro, Politeknik Negeri Ujung Pandang
sartha.thaha@gmail.com¹, andi_wawan@poliupg.ac.id², yjanuarius@gmail.com³



Abstract

As a provider of electricity services, PLN is required to provide service and supply of electricity with good quality, continuity, improvement and efficiency. Disturbances in distribution systems are short circuit faults between phases or ground phase faults. To protect properly, proper coordination of relay settings is required. Among the equipment in the protection system used in distribution lines are overcurrent relays (OCR) and ground fault relays (GFR). In this study, an analysis of the OCR and GFR settings will be carried out on a 20 kV cubicle at the Sanga-Sanga Substation, East Kalimantan, with the help of the DigSILENT Power Factory 15.1.7 application with a disturbance simulation at 10% and 90% of the feeder length. Based on the analysis results, it is obtained that the short circuit results of 3 phases, 2 phases, and 1 phase to the ground have a value that is not much different from the calculation, while the OCR setting for the outgoing relay is 0.8 A on the secondary side. TMS is 0.083 seconds while the relay is on the incoming side of 20 kV 1 A and TMS of 0.198 seconds. The GFR setting for the outgoing relay is 0.06 A on the secondary side, and TMS is 0.1 seconds, and the relay on the incoming side is 20 kV 0.015 A and TMS is 0.26 seconds).

Keywords: *protection, OCR, GFR, settings, feeder*

Abstrak

Sebagai penyedia jasa ketenagalistrikan PLN diharuskan memberikan pelayanan dan penyediaan tenaga listrik dengan tingkat kualitas, kontinuitas, keandalan dan efisiensi yang baik. Gangguan yang cukup sering terjadi pada sistem distribusi adalah gangguan hubung singkat antar fasa atau gangguan fasa tanah.. Agar dapat memproteksi dengan baik, diperlukan koordinasi setting relai yang tepat. Diantara peralatan pada sistem proteksi yang digunakan saluran distribusi adalah relay arus lebih (OCR) dan relay gangguan tanah (GFR). Pada penelitian ini akan dilakukan analisis setting OCR dan GFR pada cubicle 20 kV di Gardu Induk Sanga-sanga, Kalimantan Timur dengan bantuan aplikasi DigSILENT Power Factory 15.1.7 dengan simulasi gangguan pada titik 10% dan 90% dari panjang penyulang.. Berdasarkan hasil analisis, diperoleh hasil hubung singkat 3 fasa, 2 fasa, dan 1 fasa ke tanah memiliki nilai yang tidak jauh berbeda dengan perhitungan, sedangkan untuk setting OCR pada relay penyulang (outgoing) 0.8 A pada sisi sekunder dan TMS sebesar 0.083 detik sedangkan relay di sisi incoming 20 kV 1 A dan TMS sebesar 0.198 detik. Sedangkan untuk setting GFR pada relay penyulang (outgoing) sebesar 0,06 A pada sisi sekunder dan TMS sebesar 0.1 detik dan relay di sisi incoming 20 kV 0.015 A dan TMS sebesar 0.26 detik).

Kata Kunci: *proteksi, OCR, GFR, setting, penyulang*

I. PENDAHULUAN

Keandalan dan keberlangsungan suatu sistem tenaga listrik dalam melayani konsumen sangat tergantung pada sistem proteksi yang digunakan. Oleh sebab itu dalam perencanaan suatu sistem tenaga, perlu dipertimbangkan kondisi gangguan yang mungkin terjadi pada sistem, melalui analisa gangguan [1].

Permasalahan yang seringkali terjadi pada sistem jaringan 20 kV adalah terjadinya hubung singkat fasa – fasa maupun fasa – tanah

(ground) yang mana hal ini terjadi akibat dari tembusnya bahan isolasi, kesalahan teknis, polusi debu dan keadaan alam sekitar jaringan distribusi. Adapun sistem proteksi terdiri atas peralatan CT, PT, CBm, kabel penghubung, dan relay proteksi yang diintegrasikan dalam satu kesatuan. Relay proteksi merupakan elemen peralatan proteksi yang sangat penting pada sistem proteksi [2].

Gardu induk 150 kV Muara Jawa, Kalimantan Timur merupakan salah satu gardu induk yang masuk dalam sistem transmisi 150 kV kaltim. Untuk meningkatkan pelayanan

kepada pelanggan, perbaikan distribusi listrik, peningkatan kinerja SAIDI dan SAIFI, meminimalisir pemadaman, penurunan losses dan perbaikan recloser time maka di bangun 1 bay Trafo (20 kV).

Berdasarkan pertimbangan ini maka penulis membahas sistem koordinasi Overcurrent Relay dan Ground Fault Relay untuk gangguan antar fasa dan gangguan fasa dengan tanah di Gardu Induk Sanga-sanga.

II. TINJAUAN PUSTAKA

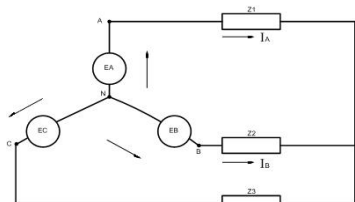
2.1 Gangguan dan Klasifikasi Gangguan

Gangguan adalah suatu ketidaknormalan dalam sistem tenaga listrik yang mengakibatkan mengalirnya arus yang tidak seimbang dalam sistem tiga fasa [3].

2.2 Gangguan Hubung Singkat

Gangguan hubung singkat dapat diklasifikasi menjadi empat jenis, yaitu: [4]

a. Gangguan Hubung Singkat 3 Fasa



Gambar 1. Gangguan Hubung Singkat 3 Fasa

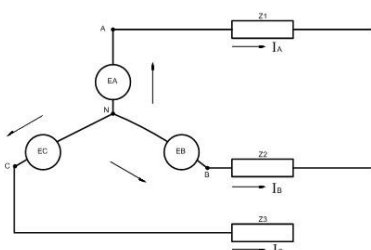
Arus yang mengalir di impedansi tersebut adalah sebesar:

$$I_A = \frac{E_A}{Z} \tag{1}$$

Dengan demikian arus gangguan yang mengalir dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut:

$$I_{hs3Ph} = \frac{\frac{V_f}{\sqrt{3}}}{\sqrt{R_1 Eki^2 + jX_1 Eki^2}} \tag{2}$$

b. Gangguan Hubung Singkat 2 Fasa



Gambar 2. Gangguan Hubung Singkat 2 Fasa

Arus yang mengalir antara fasa A dan B adalah sebagai berikut:

$$I_{hs2ph} = \frac{E_{AB}}{Z_1 + Z_2} \tag{3}$$

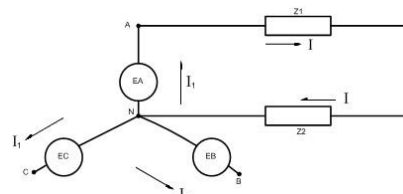
$$I_{hs2ph} = \frac{E \cdot \sqrt{3}}{Z_{Positif} + Z_{Negatif}} \tag{4}$$

Untuk menghitung arus gangguan hubung singkat dua fasa pada jaringan ekivalen yang terjadi di trafo penyulang pada jaringan tegangan menengah dapat menggunakan rumus perhitungan sebagai berikut :

$$I_{hs2ph} = \frac{\sqrt{3}}{2} \times I_{hs3ph} \tag{5}$$

Dimana: $Z_{1eki} = Z_{2eki} = Z_{1eki} + Z_{2eki} = 2Z_{2eki}$

c. Gangguan Hubung Singkat 1 Fasa ke Tanah



Gambar 3. Gangguan Hubung Singkat 1 Fasa ke Tanah

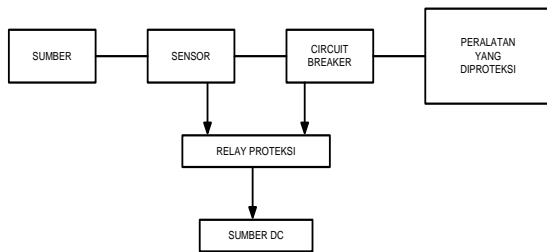
Adapun perhitungan arus gangguan hubung singkat 1 fasa ke tanah adalah :

$$I_{hs1ph} = \frac{E \cdot \sqrt{3}}{Z_1 + Z_2 + Z_0} \tag{6}$$

$$I_{hs1ph} = \frac{3 \times V_f}{\sqrt{(2 \times (R_2 eki^2 + jx_2 eki^2)) + R_0 eki^2 + jx_0 eki^2}} \tag{7}$$

2.3 Komponen Proteksi Sistem Tenaga Listrik

Sistem proteksi tenaga listrik pada umumnya terdiri dari beberapa komponen yang di rancang untuk mengidentifikasi kondisi pada sistem tenaga listrik dan bekerja berdasarkan informasi yang diperoleh dari sistem tersebut seperti arus, tegangan atau sudut fasa antara keduanya [2].



Gambar 4. Elemen Proteksi Sistem Tenaga listrik

2.4 Penyetelan Relai Arus Lebih

Dalam pengaturan *Relay* arus lebih perlu ditekankan 2 hal utama dalam setting yaitu dengan menghitung setting untuk nilai *pick-up* dan nilai untuk nilai *time multiplier* nya. *Relay* arus lebih memiliki setelan *pick-up* dan setelan *time dial* atau *time multiplier*. *Pick-up* didefinisikan sebagai nilai arus minimum yang menyebabkan *Relay* bekerja. Untuk menentukan setelan *pick-up*, harus dipertimbangkan besarnya arus nominal maksimum atau *Full Load Ampere* yang mengalir untuk menentukan besarnya tap yang digunakan dapat menggunakan persamaan sebagai berikut: [5]

$$I_s = I_p \times \text{rasio CT} \tag{8}$$

I_p = Arus Setting Primer

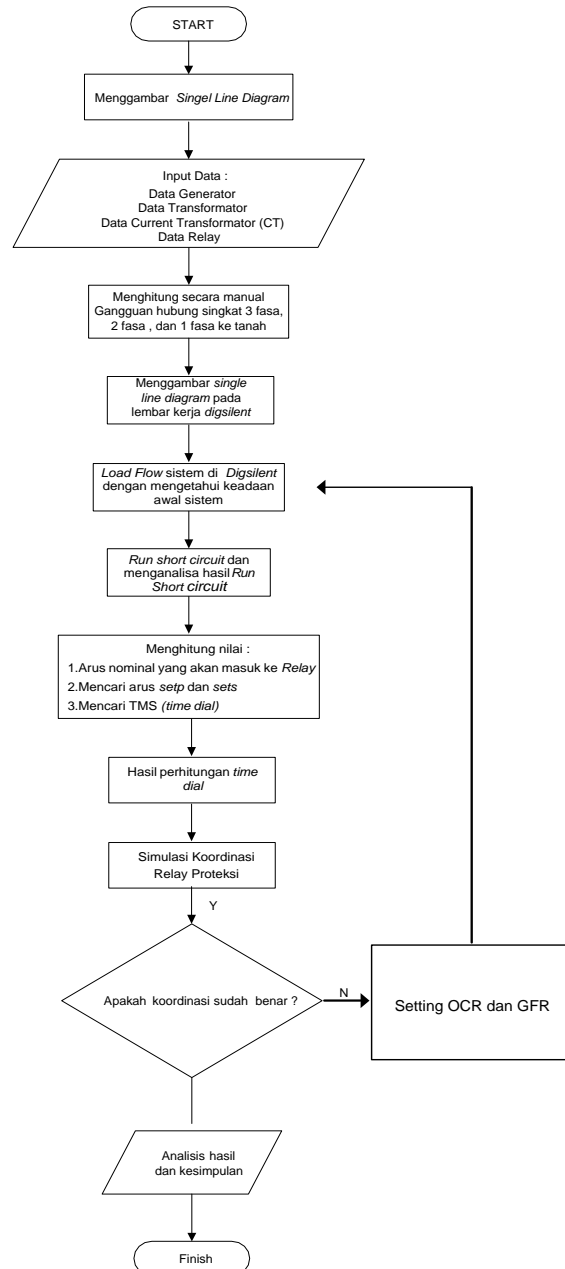
I_s = Arus Setting Sekunder

Penentuan karakteristik relai *standard inverse* dapat diperoleh dengan persamaan :

$$T_{-op} = \frac{k \cdot TMS}{\left[\left(\frac{1}{I_{set}}\right)\right]^{a-1}} \tag{9}$$

III. METODE PENELITIAN

Berikut ini dijelaskan *flowchart* penelitian koordinasi proteksi untuk menentukan *setting* relai yang optimal.



Gambar 5. Flowchart dan simulasi setting relay

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

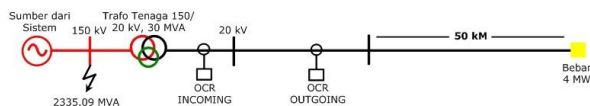
4.1 Data Penelitian

Dalam melakukan penelitian ini tentunya membutuhkan data *Transformator*, *Current transformator* 150 kV, *cubicle Incoming* dan *cubicle Outgoing* (penyulang)

a. Data Transformator

- Daya Output : 30 MVA
 - Phase : 3 phase
- Short circuit current capacity*
- HV : 40 kA
 - LV : 16 kA

- Connection Symbol : YNYn0
- Tahanan Pembumian : 40Ω pada sisi 20 kV
- b. Data *Current Transformer*
Ratio yang di gunakan : 300/1
- c. Data *Incoming*
Ratio yang digunakan : 1000/1
- d. Data *Outgoing*
Ratio yang digunakan : 300/1
Panjang Jaringan : 50 km
Penampang Penghantar : AAAC (240 mm²)
Beban Maksimum : 200 A
Daya : 4 MVA



Gambar 6. Single Line Diagram Jaringan Feeder 1

4.2 Analisa Perhitungan Impedansi

Pada gardu induk sanga-sanga trafo 150/20 kV dengan daya sebesar 30 MVA dan impedansi sebesar = 12.443 % , sisi netral trafo ini ditanahkan melalui tahanan 40 Ohm [6].

a. Perhitungan Impedansi Sumber

Pada bus 150 kV di gardu induk Sanga-sanga dengan data hubung singkat di bus sisi primer (150 kV) adalah sebesar 2335.05 MVA. Maka impedansi sumber (Xs) adalah :

$$X_{S(sisi\ 150\ kV)} = \frac{kV (sisi\ primer\ trafo)^2}{MVA\ hubung\ singkat}$$

$$= \frac{150^2}{2335.09}$$

$$= 9.64\ \Omega$$

Untuk mengetahui impedansi pada sisi sekunder, yaitu di bus sisi 20 kV maka :

$$X_{S(sisi\ 20\ kV)} = \frac{kV (sekunder)^2}{kV (primer)^2} \times X_{S(150\ kV)}$$

$$= \frac{20^2}{150^2} \times 9.64$$

$$= 0.171\ \Omega$$

b. Menghitung Reaktansi Transformator (Xt)

Besar reaktansi transformator pada gardu induk Sanga-sanga adalah :

$$X_t (pada\ 100\%) = \frac{kV^2\ sisi\ bus\ sekunder}{MVA\ Trafo}$$

$$= \frac{20^2}{30\ MVA}$$

$$= 13.333\ \Omega$$

Sehingga nilai reaktansi trafo tenaga adalah :

- Reaktansi urutan positif dan negatif ($X_{t1} = X_{t2}$)
Dimana $X_{t1} = 12.443\ \% \times 13.3333 = 1.66\ \Omega$.
- Reaktansi urutan nol (X_{t0})
Karena trafo tenaga ini memiliki belitan delta didalamnya (YNYn0), maka besaran X_{t0} berkisar antara 9 s/d 14 x X_{t1} . Untuk perhitungan diambil nilai X_{t0} lebih kurang dari 10 x X_{t1} . Sehingga $X_{t0} = 10 \times 1.66 = 16.6\ \Omega$ [7].

c. Menghitung Impedansi Penyulang

Dari data yang diperoleh, jenis penghantar yang digunakan pada penyulang hanya menggunakan satu tipe yaitu AAAC 240 mm². Panjang penyulang = panjang penghantar AAAC 240 mm² yang digunakan adalah >50 km.

$$Z_1 = Z_2 (AAAC\ 240\ mm^2) = (0.134 + j0.316)\ \Omega/km \times 50 = 6.720 + j15.790\ \Omega,$$

$$Z_0 = (AAAC\ 240\ mm^2) = (0.282 + j1.603)\ \Omega/km \times 50 = 14.120 + j80.150\ \Omega.$$

Dengan demikian nilai impedansi penyulang untuk lokasi gangguan dengan jarak 10% dan 90%.

Tabel 1. Impedansi Jaringan Urutan Positif dan Negatif

%Panjang Penyulang	Impedansi penyulang urutan positif & negatif (Ω)
10	10% x (6.720 + j15.790) = 0.670 + j1.579
90	90 % x (6.720 + j15.790) = 6.480 + j14.211

Tabel 2. Impedansi Jaringan Urutan Nol

%Panjang Penyulang	Impedansi penyulang urutan nol (Ω)
10	10% x (14.120 + j80.150) = 1.412 + j8.015
90	90 % x (14.120 + j80.150) = 12.708 + j72.135

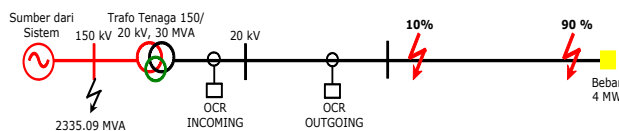
Tabel 3. Impedansi Ekuivalen Jaringan Urutan Positif Dan Negatif

%Panjang Penyulang	Impedansi ekuivalen penyulang urutan positif & negatif (Ω)
10	$j1.831 + 0.670 + j1.579$ $= 0.670 + j3.410$
90	$j1.831 + 6.480 + j14.211$ $= 6.480 + j16.042$

Tabel 4. Impedansi Ekuivalen Jaringan Urutan Nol

%Panjang Penyulang	Impedansi ekuivalen penyulang urutan nol (Ω)
10	$120 + j16.60 + 1.412 + j8.015$ $= 121.412 + j24.615$
90	$120 + j16.60 + 12.708 + j72.135$ $= 132.708 + j88.735$

4.3 Analisa Gangguan Hubung Singkat



Gambar 7 Titik Gangguan pada Jaringan Penyulang

Tabel 8. Hasil Perhitungan Arus Hubung Singkat

Panjang Penyulang (%)	Jarak (km)	Arus Hubung Singkat (A)		
		3 fasa	2 fasa	1 fasa ke tanah
10	5	3326.43	2877.55	273.705
90	45	668.157	578.55	183.258

4.4 Setelan Relay Proteksi

Penyetelan OCR pada sisi penyulang 20 kV Asumsi kapasitas penyulang adalah 200 A Maka,

$$I_{fault} = \frac{1}{Z_{trafo}} \times I_{nominal}$$

$$= \frac{1}{12.443\%} \times 200$$

$$= 1607.02 \text{ Ampere}$$

setting phase OCR sisi primer
 $= 1.2 \times I_n$
 $= 1.2 \times 200$

$$= 240 \text{ Ampere}$$

setting phase OCR sisi sekunder
 $= I_{set \text{ primer}} \times \frac{1}{Ratio \ CT}$
 $= 240 \times \frac{1}{300}$
 $= 0.8 \text{ Ampere}$

Untuk waktu kerja relay pada sisi penyulang 20 kV ditetapkan sebesar 0.3 detik, karena menggunakan relay standard inverse pada arus hubung singkat maksimum, maka tms :

$$TMS = t \times \frac{((\frac{I_{fault}}{I_{set}})^{0.02} - 1)^{0.14}}{((\frac{1607.02}{240})^{0.02} - 1)^{0.14}}$$

$$= 0.3 \times \frac{0.14}{((6.696)^{0.02} - 1)^{0.14}}$$

$$= 0.083 \text{ detik}$$

Penyetelan OCR pada sisi Incoming 20 kV Besar arus nominal trafo 30 MVA disisi 20 kV

$$I_n = \frac{30 \text{ MVA}}{20 \sqrt{3}}$$

$$= 866.05 \text{ Ampere}$$

Untuk impedansi Trafo sebesar 12.443%, arus hubung singkat maksimumnya adalah :

$$I_{fault} = \frac{1}{Z_{trafo}} \times I_{nominal}$$

$$= \frac{1}{12.443\%} \times 866.05$$

$$= 6960 \text{ Ampere}$$

setting phase OCR sisi primer

$$= 1.15 \times I_n$$

$$= 1.15 \times 866.05$$

$$= 996 \text{ Ampere}$$

setting phase OCR sisi sekunder

$$= I_{set \text{ primer}} \times \frac{1}{Ratio \ CT}$$

$$= 996 \times \frac{1}{1000}$$

$$= 1 \text{ Ampere}$$

$$TMS = t \times \frac{((\frac{I_{fault}}{I_{set}})^{0.02} - 1)^{0.14}}{((\frac{6960}{996})^{0.02} - 1)^{0.14}}$$

$$= 0.7 \times \frac{0.14}{(1.0396 - 1)^{0.14}}$$

$$= 0.198 \text{ detik}$$

Penyetelan GFR pada sisi penyulang 20 kV Besar arus beban maksimum adalah 183.258 A

Setelan arus sisi primer = 10% x arus beban
 $= 10\% \times 183.258$
 $= 18.33 \text{ Ampere}$

Setelan arus sisi sekunder = 18.33 x $\frac{1}{Ratio \ CT}$
 $= 18.33 \times \frac{1}{300}$
 $= 0.06 \text{ A}$

Untuk waktu kerja *relay* pada sisi penyulang 20 kV ditetapkan sebesar 0.3 detik, karena menggunakan *relay standard inverse* pada arus hubung singkat maksimum, maka tms :

$$\begin{aligned}
 TMS &= t \times \frac{\left(\frac{I_{fault}}{I_{set}}\right)^{0.02} - 1}{0.14} \\
 &= 0.3 \times \frac{\left(\frac{183.258}{18.33}\right)^{0.02} - 1}{0.14} \\
 &= 0.3 \times \frac{1.047 - 1}{0.14} \\
 &= 0.101 \text{ detik} \\
 &= 0.1 \text{ detik (pembulatan)}
 \end{aligned}$$

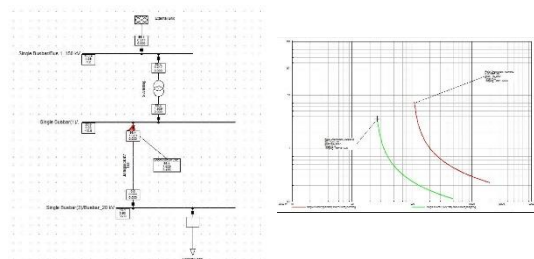
Penyetelan GFR pada sisi Incoming 20 kV Besar arus beban terkecil adalah 183.258 A Setelan arus sisi primer = 8% x arus beban = 8% x 183.258 = 14.66 Ampere

$$\begin{aligned}
 \text{Setelan arus sisi sekunder} &= 14.66 \times \frac{1}{\text{Ratio CT}} \\
 &= 14 \times \frac{1}{1000} \\
 &= 0.015 \text{ A}
 \end{aligned}$$

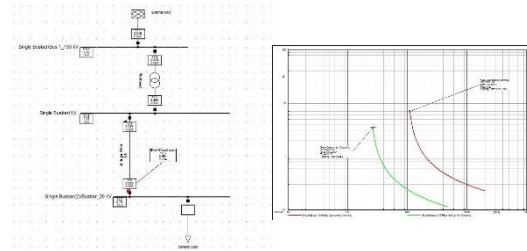
Untuk waktu kerja *relay* pada sisi incoming 20 kV selektifitas didapat dengan waktu kerja sisi hilir + 0.4 sehingga ditetapkan sebesar 0.7 detik, karena menggunakan *relay standard inverse* pada arus hubung singkat maksimum, maka tms :

$$\begin{aligned}
 TMS &= t \times \frac{\left(\frac{I_{fault}}{I_{set}}\right)^{0.02} - 1}{0.14} \\
 &= 0.7 \times \frac{\left(\frac{183.2258}{14.66}\right)^{0.02} - 1}{0.14} \\
 &= 0.7 \times \frac{1.052 - 1}{0.14} \\
 &= 0.26 \text{ detik}
 \end{aligned}$$

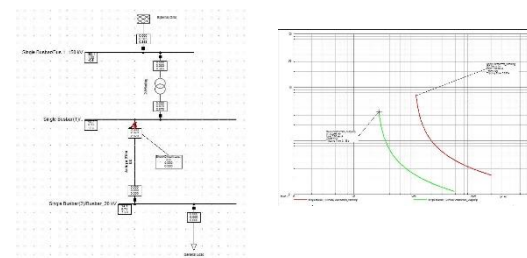
Berdasarkan hasil perhitungan diatas dilakukan simulasi pada *software Digsilent* untuk melihat koordinasi setting pada sistem apabila mengalami gangguan.



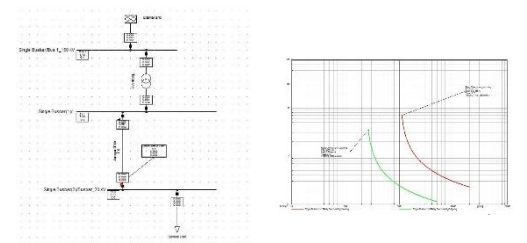
Gambar 8. Hasil Simulasi Gangguan 3 Fasa pada titik 10%



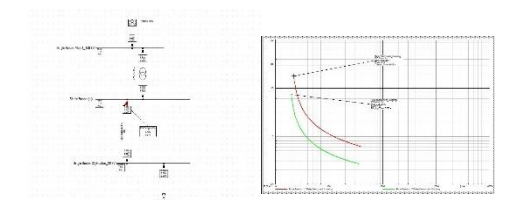
Gambar 9. Hasil Simulasi Gangguan 3 Fasa pada titik 90%



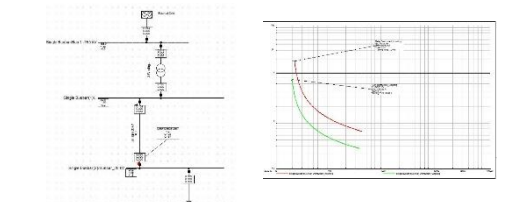
Gambar 10. Hasil Simulasi Gangguan 2 Fasa pada titik 10%



Gambar 11. Hasil Simulasi Gangguan 2 Fasa pada titik 90%



Gambar 12. Hasil Simulasi Gangguan 1 Fasa ke Tanah pada titik 10%



Gambar 13. Hasil Simulasi Gangguan 1 Fasa ke Tanah pada titik 90%

V. Kesimpulan

Berdasarkan penelitian maka dapat disimpulkan bahwa Koordinasi setting OCR dan GFR pada *Cubicle Incoming* dan *Cubicle Outgoing feeder 1* pada Gardu Induk Sanga –

sanga telah memenuhi standar IEEE 242-1986 dan IEC 60255.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih ditujukan kepada PT. SEN Enjiniring Kelistrikan, yang telah memberi kesempatan melakukan penelitian. Begitu pula dengan Jurusan Teknik Elektro Politeknik Negeri Ujung Pandang yang memberi kesempatan dalam menyelesaikan penelitian ini.

REFERENSI

- [1] Irfan, Affandi, *Sistem Pengaman Relai Arus Lebih (Overcurrent Relay) Dan GFR Sebagai Proteksi Trafo Pada Gi 30 Kv*, 2009.
- [2] Tanyadji, I. S., & ST., M. S, *Sistem Proteksi Tenaga Listrik*, Makassar: Penerbit Innawa, 2015.
- [3] Edinta S. Ronika, *Perhitungan Kedip Tegangan Akibat Gangguan Hubung Singkat Pada Penyulang UNIB Sistem Distribusi PLN Bengkulu*, Teknik elektro, Universitas Bengkulu, 2014.
- [4] Stevenson, William D, *Analisa Sistem Tenaga Listrik, Edisi Keempat*. Diterjemahkan oleh: Idris. Ir. Kamal, Jakarta: Erlangga, 1994.
- [5] Rachmat Hidayat Mastian Noor, *Analisis Koordinasi Over Current Relay Untuk Gangguan Phasa Dan Tanah Di PT.KPC (Kaltim Prima Coal)*, 2017.
- [6] PT. PLN (Persero). *Proteksi dan Kontrol Transformator*. Jakarta: PT. PLN (Persero)
- [7] Djiteng,M, *Operasi Sistem Tenaga Listrik Edisi Ketiga*.Jakarta: Graha Ilmu, 2015.