

# **ANALISIS NEUTRAL GROUND RESISTOR (NGR) DAN GROUND FAULT RELAY (GFR) PADA TRANSFORMATOR DAYA GARDU INDUK KENDARI NEW 150 kV**

Brian Dwijayanto Sarira<sup>1</sup>, Samuel Jie<sup>2</sup>, Mustarum Musaruddin<sup>3\*</sup>, Yuni Aryani Koedoes<sup>4</sup>, Sahabuddin Hay<sup>5</sup>  
Indrayati Galugu<sup>6</sup>, Agustinus Lolok<sup>7</sup>

<sup>1,2,3,4,5,6,7</sup> Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Halu Oleo

\*Correspondent Author: [mustarum@gmail.com](mailto:mustarum@gmail.com)

**Abstract** –This study aims to analyse the effect of a Neutral Ground Resistor (NGR) on the magnitude of the single-phase short circuit fault current to the ground and the tuning of the Ground Fault Relay (GFR) working time on the power transformer at Kendari New 150 kV Substation. The research was conducted by collecting data on the Southeast Sulawesi electricity system and then modelling and simulation using Matlab and Simulink. The results obtained show that the magnitude of one phase fault current to the ground using NGR 40 Ohm at 0% fault location is worth 288.41 amperes with the value of GFR working time on the outgoing side of 0.299 seconds and the incoming side of 0.7 seconds. However, without using NGR, the fault current obtained is 6824.56 ampere with the value of the GFR working time on the outgoing side of 0.299 seconds and the incoming side of 0.7 seconds. This shows that NGR can function properly in limiting the magnitude of the single-phase short circuit fault current to the ground to protect the transformer from the threat of damage.

**Keywords** — Short Circuit Fault, NGR, GFR, Matlab.

**Abstrak** — Penelitian ini bertujuan untuk menganalisa pengaruh Neutral Ground Resistor (NGR) terhadap besar arus gangguan hubung singkat satu fasa ke tanah dan penyetelan waktu kerja Ground Fault Relay (GFR) pada Transformator daya pada Gardu Induk Kendari New 150 kV. Penelitian dilakukan dengan mengumpulkan data pada sistem kelistrikan Sulawesi Tenggara lalu dibuat pemodelan dan simulasi menggunakan Matlab dan Simulink. Hasil yang diperoleh menunjukkan bahwa besar arus gangguan satu fasa ke tanah dengan menggunakan NGR sebesar 40 Ohm pada lokasi gangguan 0% bernilai 288,41 ampere dengan nilai waktu kerja GFR pada sisi outgoing sebesar 0,299 detik dan pada sisi incoming sebesar 0,7 detik. Tetapi tanpa menggunakan NGR diperoleh besar arus gangguan ialah 6824,56 ampere dengan nilai waktu kerja GFR pada sisi outgoing sebesar 0,299 detik dan pada sisi incoming sebesar 0,7 detik. Hal ini menunjukkan bahwa NGR dapat berfungsi dengan baik dalam membatasi besar arus gangguan hubung singkat satu fasa ke tanah sehingga dapat melindungi transformator dari ancaman kerusakan.

**Kata kunci** — Gangguan Hubung Singkat, NGR, GFR, Matlab.

## I. PENDAHULUAN

Energi listrik merupakan kebutuhan yang sangat penting dan tak tergantikan di masa sekarang dan yang akan datang. Di dalam penyaluran energi listrik, diperlukan kontinuitas pelayanan yang baik kepada konsumen. Saat ini, terdapat penekanan pada peningkatan efisiensi energi dan operasional untuk semua sistem transmisi dan distribusi [1].

Gardu induk merupakan bagian terpenting dalam sistem tenaga listrik yang menjadi bagian penghubung antara saluran transmisi dan distribusi. Selain itu digardu induk tempat berisi peralatan sistem tenaga listrik seperti transformator, peralatan proteksi dan peralatan kontrol. Transformator merupakan peralatan yang sangat vital dalam penyaluran sistem tenaga listrik langsung ke konsumen, baik konsumen tegangan tinggi, tegangan menengah maupun tegangan rendah [2].

Kasus keamanan kerja dalam sistem kelistrikan harus dicermati dengan baik terhadap perlengkapan serta pekerjaan, maka dibutuhkan usaha melindungi suatu perlengkapan dari sistem keamanan yang kurang baik atau ancaman yang terjadi pada salah satu kendala listrik. Ada hal yang perlu diperhatikan dalam melihat ancaman sistem terhadap perlengkapan serta pekerjaan pada transformator di Gardu Induk [3]. Oleh sebab itu sistem pentanahan yang digunakan memiliki peran begitu besar pada keamanan perlengkapan yang digunakan, oleh karena itu apabila suatu sistem proteksi tidak bekerja dengan baik maka akan membahayakan personil yang bekerja ataupun perlengkapan yang digunakan pada Gardu Induk. Kendala yang kerap terjadi merupakan kendala hubung singkat satu fasa ke tanah [2].

Salah satu sistem pengamanan ialah dengan sistem pentanahan netral serta sistem proteksi. Salah satu cara pentanahan pada transformator daya yang digunakan pada Gardu Induk Kendari 150 kV adalah dengan memakai NGR dan terdapat proteksi GFR [4]. Saat terjadi kendala, NGR berperan membatasi arus gangguan, NGR juga menganalisa besar arus gangguan serta mengirimkan sinyal melalui current transformator ke GFR yang hendak memutuskan circuit breaker bila arus gangguannya melebihi yang diperbolehkan transformator. Beberapa penelaitain sebelumnya telah membahas terkait disturbance dan sistem proteksi [5-7], tetapi belum melihat lebih detail terkait hubungan antara penerapan NGR dan GFR pada transformator daya di Gardu Induk.

## II. METODE PENELITIAN

### 1). Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian ini dilakukan selama 3 bulan , sejak Mei sd. Juli 2022, di Gardu Induk Kendari New 150 kV yang bertempat di Jalan Wolter Monginsidi, Desa Ambaipua kecamatan Ranomeeto Kabupaten Konawe Selatan.

### 2). Pengumpulan Data

Pada penelitian ini dilakukan pengumpulan data kondisi Sistem Kelistrikan Kendari antara lain, Single Line Diagram, Spesifikasi Transformator, Spesifikasi NGR, Data Penyulang dan Data Relay GFR. Dimana data tersebut diperoleh dari ULTG Kendari dan UP3 Kendari.

### 3). Pemodelan dan simulasi sistem

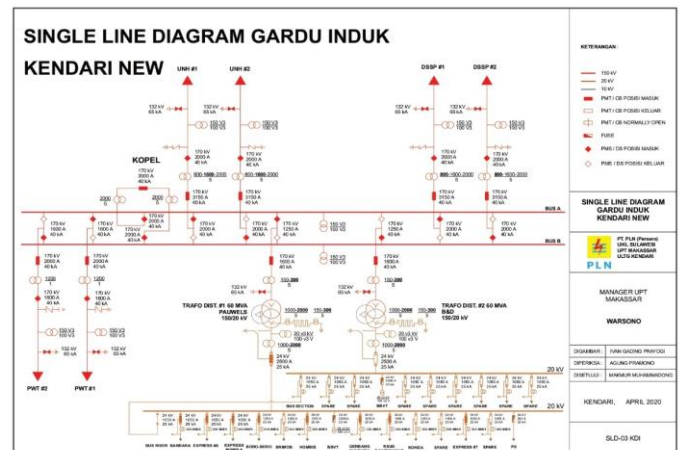
Pada tahap ini dibuat Pemodelan sistem Gardu Induk Kendari New 150 kV dengan menginput data-data yang telah diperoleh di lapangan menggunakan software Matlab dan Simulink.

### 4). Pengolahan dan Analisis Data

Pengolahan data dilakukan secara manual dan menggunakan software MATLAB. Perhitungan manual dan perhitungan software MATLAB akan dibandingkan apakah nilai didapat berbeda atau sama. Setelah itu dilakukan simulasi dengan MATLAB. Apabila perhitungan dan simulasi berjalan dengan baik maka akan berlanjut ke analisis. Dan apabila terjadi kegagalan maka langkah analisis perhitungan dan simulasi akan di lakukan ulang. Teknik analisis data yang digunakan adalah statistik deskriptif di mana tata cara dalam menganalisis informasi dengan menggambarkan informasi yang telah dikumpulkan.

## III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Gardu Induk Kendari New 150 kV adalah gardu induk yang bekerja di sistem tenaga listrik Sulawesi Tenggara. Gardu Induk Kendari New 150 kV memiliki sumber energi yang dipasok dari pembangkit antara lain, PLTU Moramo, PLTU Tanasa dan interkoneksi yang berasal dari Sulawesi Selatan. Pada Gardu Induk ini terapat 2 transformator daya yang digunakan, dimana tegangan masukannya sebesar 150 kV dan memiliki kapasitas daya 60 MVA pada tiap transformator daya. Gambar 1 memperlihatkan Single Line Diagram dari Gardu Induk Kendari New 150 kV.



Gambar 1. Single Line Diagram Gardu Induk Kendari New 150 kV

### A. Data Transformator Tenaga, NGR, dan Data Penyulang

Transformator yang digunakan yaitu merk CG PAUWELS TRAF0 dengan kapasitas 150 kVA. Transformator ini merupakan transformator 3 fasa yang digunakan untuk menurunkan tegangan PLN 150 kV dengan frekuensi 50 Hz menjadi 20 kV dengan arus nominal sebesar 1732.1 A. Beberapa data yang diperoleh saat melakukan pengamatan secara langsung ke lokasi penelitian dapat dilihat pada Tabel 1 sd Tabel 3 :

Tabel 1. Data Transformator Tenaga

DATA TRANSFORMATOR TENAGA #1	
Merk/Type	CG PAUWELS TRAF0
Daya Pengenal	36/60
Frequency Hertz	50 Hz
Tegangan Primer	150 Kv
Tegangan Sekunder	20 Kv
Nominal Current	1732.1 A
Reaktansi	12,305%
Belitan	YNyn0(d)

Sumber: PT. PLN (Persero) ULTG Kendari

Tabel 2. Data NGR

Data dan Spesifikasi Neutral Grounding Resistor	
Manufacturer	OZ DIRENC
Type	P422-N1x125-10-A304
Rated Voltage	20/√3
Rated Current	300 A
Rated Time	10 sec
Resistance	40±10%

Sumber: PT. PLN (Persero) ULTG Kendari

Tabel 3. Data Penyulang

Jenis Penghantar Kawat Kabel	Ukuran (mm <sup>2</sup> )	Panjang (km)	Impedansi Urutan Positif dan Negatif (Z <sub>1</sub> = Z <sub>2</sub> ) (Ω/km)	Impedansi Urutan Nol (Z <sub>0</sub> ) (Ω/km)
AAAC	240 mm <sup>2</sup>	108,134	0,1225 + j0,3157	0,2705 + j1,6032

Sumber: PT. PLN (Persero) UP3 Kendari

B. Perhitungan Gangguan Hubung Singkat

Dalam menganalisis gangguan hubung singkat satu fasa dan dua fasa ketanah, terlebih dahulu dilakukan perhitungan impedansi sumber, impedansi transformator dan impedansi penyulang. Setelah itu dilakukan juga perhitungan impedansi ekivalen penyulang. Selanjutnya dilakukanlah perhitungan gangguan hubung singkat satu fasa dan dua fasa ke tanah.

1). Perhitungan Impedansi Sumber

Dari data yang diperoleh dimana arus hubung singkat 3 fasa maksimum yang terjadi pada gardu induk Kendari new 150 kV bernilai 3,16 kA, sehingga kapasitas arus hubung singkat maksimal pada gardu induk Kendari new 150 kV yaitu sebesar:

$$\begin{aligned}
 MVA_{hs} &= I_{hs} 3 \max x (v_{primer\ trafo} x \sqrt{3}) \\
 &= 3,16 \times (150 \times \sqrt{3}) \\
 &= 820,992082788 \text{ MVA}
 \end{aligned}$$

Lalu menghitung impedansi sumber pada sisi 150 Kv

$$\begin{aligned}
 X_{(sisi\ 150\ kV)} &= \frac{(kV)^2}{MVA_{hs}} \\
 &= \frac{(150)^2}{820,992082788} \\
 &= j27,4058672084 \ \Omega
 \end{aligned}$$

Maka diperoleh impedansi sumber 20 kV

$$\begin{aligned}
 X_{(sisi\ 20\ kV)} &= \frac{kV_{(sisi\ sekunder\ trafo)}^2}{kV_{(sisi\ primer\ trafo)}^2} x Z_{(sisi\ 150\ kV)} \\
 &= \frac{(20)^2}{(150)^2} \times j27,4058672084 \\
 &= j0,48721541704 \ \Omega
 \end{aligned}$$

Tabel 4. Hasil Perhitungan Impedansi Sumber

No	Hasil Perhitungan Impedansi Sumber	
1.	MVA <sub>hs</sub>	820,992082788 MVA
2.	X <sub>(sisi 150 kV)</sub>	j27,4058672084 Ω
3.	X <sub>(sisi 20 kV)</sub>	j0,48721541704

Dari Tabel 4, hasil yang didapatkan yaitu kapasitas daya hubung singkat (MVA<sub>hs</sub>) adalah sebesar 820,9920 MVA. Nilai impedansi pada sisi 150 kV (Z<sub>(sisi 150kV)</sub>) sebesar 27,40586 Ohm dan pada (Z<sub>(sisi 20kV)</sub>) adalah 0,487215 Ohm.

2). Perhitungan Impedansi Transformator

$$\begin{aligned}
 X_T &= \frac{kV^2 sisi\ sekunder}{MVA_{trafo}} \\
 &= \frac{(20)^2}{60} \\
 &= 6,66666666667 \ \Omega
 \end{aligned}$$

Setelah melakukan perhitungan impedansi trafo, dilanjutkan dengan perhitungan impedansi transformator urutan positif, negative dan nol. Berdasarkan data yang diperoleh nilai impedansi transformator tenaga #1 adalah 12,305%, maka diperoleh:

Impedansi trafo urutan positif dan negatif:

$$\begin{aligned}
 X_{T1} &= (\% \text{ yang diketahui } x Z_t \text{ (pada 100\%)}) \\
 &= (12,305\% \times 6,66666666667) \\
 &= j0,8203 \ \Omega
 \end{aligned}$$

Impedansi trafo urutan nol

$$\begin{aligned}
 X_{T0} &= 3 x Z_{T1} \\
 &= (3 \times j0,8203) \\
 &= j2,4609 \ \Omega
 \end{aligned}$$

Tabel 5. Hasil Perhitungan Impedansi Transformator

No.	Hasil Perhitungan Impedansi Transformator	
1.	Z <sub>T</sub>	6,66666666667 Ω
2.	Z <sub>T1</sub>	j0,8203 Ω
3.	Z <sub>T0</sub>	j2,4609 Ω

Hasil perhitungan impedansi trafo (Z<sub>T</sub>) adalah 6,66666666667 Ω. Nilai impedansi trafo urutan positif/negative (Z<sub>T1</sub>/Z<sub>T2</sub>) adalah j0,8203 Ω. Dan nilai impedansi trafo urutan nol (Z<sub>T0</sub>) adalah j2,4609 Ω.

3). Perhitungan Impedansi Penyulang

Data yang diperoleh dari UP3 Kendari terkait dengan jenis penghantar yang di aplikasikan pada Gardu Induk Kendari New 150 kV pada penyulang Boro-Boro adalah AAAC dengan luas penampang 240 mm<sup>2</sup> dan Panjang penyulang 108,134 km. Dengan nilai impedansi berdasarkan SPLN No. 64 Tahun 1985. Maka diperoleh nilai impedansi penyulang urutan positif, negatif dan nol.

- a. Impedansi urutan Positif dan Negatif  
 Pada Lokasi gangguan 25%

$$\begin{aligned}
 Z_1 = Z_2 &= \%panjang \times panjang\ penyulang(km) \times Z_1/Z_2(\Omega) \\
 &= 25\% \times 108,134 \times (0,1225 + j0,3157) \\
 &= 3,31160375 + j8,53447595\Omega
 \end{aligned}$$

Hasil perhitungan untuk impedansi urutan positif dan negatif dapat dilihat pada Tabel 6.

Tabel 6. Hasil perhitungan untuk impedansi urutan positif dan negatif.

Gangguan Pada Lokasi (%)	Jarak Gangguan (Km)	Impedansi Urutan Positif dan Negatif ( $Z_1 = Z_2$ )
0%	0	0
25%	27,0335	3,31160375 + j8,53447595
50%	54,067	6,6232075 + j17,0689519
75%	81,1005	9,93481125 + j25,60342785
100%	108,134	13,246415 + j34,1379038

- b. Impedansi Urutan Nol

Pada Lokasi Gangguan 25%

$$\begin{aligned}
 Z_0 &= \%panjang \times panjang\ penyulang(km) \times Z_0(\Omega) \\
 &= 25\% \times 108,134 \times (0,2705 + j1,6032) \\
 &= 7,31256175 + j43,3401072\Omega
 \end{aligned}$$

Hasil perhitungan untuk impedansi urutan positif dan negatif dapat dilihat pada tabel 7.

Tabel 7. Hasil perhitungian impedansi urutan positif dan negatif

Gangguan Pada Lokasi (%)	Jarak Gangguan (KM)	Impedansi Urutan Nol ( $Z_0$ )
0%	0	0
25%	27,0335	7,31256175 + j43,3401072
50%	54,067	14,6251235 + j86,6802144
75%	81,1005	21,93768525 + j130,0203216
100%	108,134	29,250247 + j173,3604288

Hasil perhitungan impedansi penyulang urutan positif/negatif dan impednasi urutan nol dapat dilihat pada Tabel 8.

Tabel 8. Perhitungan Impedansi Penyulang

Lokasi Gangguan (%)	Jarak Gangguan (Km)	Hasil Perhitungan Impedansi Penyulang	
		Urutan Positif-Negatif ( $Z_1 = Z_2$ )	Urutan Nol ( $Z_0$ )
0%	0	0	0
25%	27,0335	3,31160375+j8,53447595	7,31256175+j43,3401072
50%	54,067	6,6232075 + j17,0689519	14,6251235+j86,6802144
75%	81,1005	9,93481125+j25,60342785	21,93768525+j130,0203216
100%	108,134	13,246415 + j34,1379038	29,250247 + j173,3604288

Pada Tabel 8, impedansi penyulang urutan positif/negatif dan nol pada pengandaian lokasi gangguan (0%) adalah 0 Ohm, dan pada pengandaian lokasi gangguan (100%) impedansi penyulang urutan positif/negatif adalah 13,246415 + j34,1379038. Sedangkan pada pengandaian lokasi gangguan (100%) impedansi penyulang urutan nol adalah 29,250247 + j173,3604288. Pada hasil yang telah diperoleh terlihat bahwa semakin jauh pengandaian lokasi gangguan pada penyulang maka nilai impedansi yang didapatkan akan semakin besar.

- 4). Perhitungan Impedansi Penyulang

Data yang diperoleh dari UP3 Kendari terkait dengan jenis penghantar yang di aplikasikan pada Gardu Induk Kendari New 150 kV pada penyulang Boro-Boro adalah AAAC dengan luas penampang 240 mm<sup>2</sup> dan Panjang penyulang 108,134 km. Dengan nilai impedansi berdasarkan SPLN No. 64 Tahun 1985. Maka diperoleh nilai impedansi penyulang urutan positif, negatif dan nol.

- a. Impedansi urutan Positif dan Negatif

Pada Lokasi gangguan 25%

$$\begin{aligned}
 Z_0 &= \%panjang \times panjang\ penyulang(km) \times Z_0(\Omega) \\
 &= 25\% \times 108,134 \times (0,2705 + j1,6032) \\
 &= 7,31256175 + j43,3401072\Omega
 \end{aligned}$$

Hasil perhitungan untuk impedansi urutan positif dan negatif dapat dilihat pada Tabel 9.

Tabel 9. Perhitungan Impedansi Urutan Nol

Gangguan Pada Lokasi (%)	Jarak Gangguan (KM)	Impedansi Urutan Nol ( $Z_0$ )
0%	0	0
25%	27,0335	7,31256175 + j43,3401072
50%	54,067	14,6251235 + j86,6802144
75%	81,1005	21,93768525 + j130,0203216
100%	108,134	29,250247 + j173,3604288

Hasil perhitungan impedansi penyulang urutan positif/negatif dan impednasi urutan nol dapat dilihat pada tabel 10 sebagai berikut:

Tabel 10. Perhitungan Impedansi Penyulang

Lokasi Gangguan (%)	Jarak Gangguan (Km)	Hasil Perhitungan Impedansi Penyulang	
		Urutan Positif-Negatif ( $Z_1 = Z_2$ )	Urutan Nol ( $Z_0$ )
0%	0	0	0
25%	27,0335	3,31160375+j8,53447595	7,31256175+j43,3401072
50%	54,067	6,6232075 + j17,0689519	14,6251235+j86,6802144
75%	81,1005	9,93481125+j25,60342785	21,93768525+j130,0203216
100%	108,134	13,246415 + j34,1379038	29,250247 + j173,3604288

Pada Tabel 10, impedansi penyulang urutan positif/negatif dan nol pada pengandaian lokasi gangguan (0%) adalah 0 Ohm, dan pada pengandaian lokasi gangguan (100%) impedansi penyulang urutan positif/negatif adalah 13,246415 + j34,1379038. Sedangkan pada pengandaian lokasi gangguan (100%) impedansi penyulang urutan nol adalah 29,250247 + j173,3604288. Pada hasil yang telah diperoleh terlihat bahwa semakin jauh pengandaian lokasi gangguan pada penyulang maka nilai impedansi yang didapatkan akan semakin besar.

5). Perhitungan Impedansi Ekuivalen Penyulang

Setelah memperoleh hasil impedansi penyulang, maka dilakukan perhitungan impedansi ekuivalen penyulang.

Perhitungan  $Z_{1eq} = Z_{2eq}$

Pada lokasi gangguan 25%

$$\begin{aligned}
 25\% Z_{1eq} = Z_{2eq} &= j1,30751541704 + Z_{1penyulang} \\
 &= j1,30751541704 + (3,31160375 + \\
 &\quad j8,53447595) \\
 &= 3,31160375 + j9,84199136704
 \end{aligned}$$

Hasil perhitungan untuk impedansi ekuivalen urutan positif dan negatif dapat dilihat pada Tabel 11.

Tabel 11. Perhitungan Impedansi Urutan Ekuivalen

Gangguan Pada Lokasi (%)	Jarak Gangguan (Km)	Impedansi Ekuivalen Urutan Positif dan Negatif ( $Z_{1eq} = Z_{2eq}$ )
0%	0	j1,30751541704
25%	27,0335	3,31160375 + j9,84199136704
50%	54,067	6,6232075 + j18,376467317
75%	81,1005	9,93481125 + j26,910943267
100%	108,134	13,246415 + j35,445419217

Perhitungan  $Z_{0eq}$  dengan nilai R=40 Ohm

Pada lokasi gangguan 25%

$$\begin{aligned}
 25\% Z_{0eq} &= j2,4609 + 120 + Z_{0 penyulang} \\
 &= j2,4609 + 120 + (7,31256175 + j43,3401072) \\
 &= 127,31256175 + j45,8010072
 \end{aligned}$$

Hasil Perhitungan impedansi ekuivalen urutan nol dengan nilai R= 40Ω dapat dilihat pada Tabel 12

Tabel 12. Perhitungan impedansi ekuivalen urutan nol dengan nilai R= 40Ω

Gangguan Pada Lokasi (%)	Jarak Gangguan (Km)	Impedansi Urutan Nol Nilai R= 40 Ohm ( $Z_{0eq}$ )
0%	0	120 + j2,4609
25%	27,0335	127,31256175 + j45,8010072
50%	54,067	134,6251235 + j89,1411144
75%	81,1005	141,93768525+ j132,4812216
100%	108,134	149,250247 + j175,8213288

Perhitungan  $Z_{0eq}$  menggunakan nilai R=0 Ohm

Pada lokasi gangguan 25%

$$\begin{aligned}
 Z_{0eq} &= Z_{T0} + 3Rn + Z_{0 penyulang} \\
 &= j2,4609 + 3(0) + Z_{0 penyulang} \\
 &= j2,4609 + Z_{0 penyulang} \\
 25\% Z_{0eq} &= j2,4609 + Z_{0 penyulang} \\
 &= j2,4609 + (7,31256175 + j43,3401072) \\
 &= 7,31256175 + j45,8010072
 \end{aligned}$$

Tabel 13. Perhitungan impedansi ekuivalen urutan nol dengan nilai R= 0 Ω

Gangguan Pada Lokasi (%)	Jarak Gangguan (Km)	Impedansi Urutan Nol Nilai R=0 Ohm ( $Z_{0eq}$ )
0%	0	$0 + j2,4609$
25%	27,0335	$7,31256175 + j45,8010072$
50%	54,067	$14,6251235 + j89,1411144$
75%	81,1005	$21,93768525 + j132,4812216$
100%	108,134	$29,250247 + j175,8213288$

6). Perhitungan Hubung Singkat Satu Fasa ke Tanah dengan nilai R=40 Ohm Pada lokasi gangguan 25%

$$\begin{aligned}
 I_{HS\ 1\ fasa} &= \frac{34641,01615}{(2 \times Z_{1\ Eq}) + Z_{0\ Eq}} \\
 &= \frac{34641,01615}{(2 \times 3,31160375 + j9,84199136704) + (127,31256175 + j45,8010072)} \\
 &= \frac{34641,01615}{133,93576925 + j65,48498993408} \\
 &= 232,353636\ A
 \end{aligned}$$

Tabel 14. Hasil Perhitungan Gangguan Hubung Singkat Satu Fasa ke Tanah

Gangguan Pada Lokasi (%)	Jarak Gangguan (Km)	Gangguan Hubung Singkat Satu Fasa Ke Tanah dengan Nilai R= 40Ω
0%	0	288,417225
25%	27,0335	232,353636
50%	54,067	178,374110
75%	81,1005	140,383485
100%	108,134	114,361966

7). Gangguan Hubung Singkat Satu Fasa ke Tanah dengan Nilai R=0 Ohm Pada lokasi gangguan 25%

$$\begin{aligned}
 I_{HS\ 1\ fasa} &= \frac{34641,01615}{(2 \times Z_{1\ Eq}) + Z_{0\ Eq}} \\
 &= \frac{34641,01615}{(2 \times 3,31160375 + j9,84199136704) + (7,31256175 + j45,8010072)} \\
 &= \frac{34641,01615}{13,93576925 + j65,48498993408} \\
 &= 517,405426\ A
 \end{aligned}$$

Tabel 15. Perhitungan gangguan hubung singkat satu fasa ke tanah dengan nilai R= 0 Ω

Gangguan Pada Lokasi (%)	Jarak Gangguan (Km)	Gangguan Hubung Singkat Satu Fasa Ke Tanah dengan Nilai R= 0 Ω (A)
0%	0	6824,564258
25%	27,0335	517,405426
50%	54,067	268,655033
75%	81,1005	181,427013
100%	108,134	136,958264

8). Perhitungan Hubung Singkat Dua Fasa ke Tanah dengan R=40 Pada lokasi gangguan 25%

$$\begin{aligned}
 I_{HS\ 2\ fasa} &= \frac{20000}{(2 \times (Z_{1\ Eq} = Z_{2\ Eq})) \times Z_{0\ Eq} + (Z_{1\ Eq} = Z_{2\ Eq} + Z_{0\ Eq})} \\
 &= \frac{20000}{(2 \times 3,311603 + j9,841991) \times (127,312561 + j45,801007) + (3,311603 + j9,841991) + 127,312561 + j45,801007} \\
 &= 1010,555831\ A
 \end{aligned}$$

Tabel 16. Perhitungan hubung singkat dua fasa ke tanah dengan nilai R = 40Ω

Gangguan Pada Lokasi (%)	Jarak Gangguan (KM)	Gangguan Hubung Singkat Dua Fasa Ke Tanah dengan Nilai R= 40 Ω (A)
0%	0	7650,255117
25%	27,0335	1010,555831
50%	54,067	562,831846
75%	81,1005	375,378013
100%	108,134	305,414590

9). Gangguan Hubung Singkat Dua Fasa ke Tanah dengan Nilai R=0 Ohm Pada lokasi gangguan 25%

$$\begin{aligned}
 I_{HS\ 2\ fasa} &= \frac{20000}{(2 \times (Z_{1\ Eq} = Z_{2\ Eq})) \times Z_{0\ Eq} + (Z_{1\ Eq} = Z_{2\ Eq} + Z_{0\ Eq})} \\
 &= \frac{20000}{(2 \times 3,311603 + j9,841991) \times (7,31256175 + j45,8010072) + (3,311603 + j9,841991) + (7,31256175 + j45,8010072)} \\
 &= 1176,175479\ A
 \end{aligned}$$

Tabel 17. Perhitungan hubung singkat dua fasa ke tanah dengan nilai R=0 Ohm

Gangguan Pada Lokasi (%)	Perhitungan Hubung Singkat Dua Fasa Ke Tanah		
	Jarak Gangguan (Km)	Dengan R=40 Ohm	Dengan R=0 Ohm
0%	0	7650,255117	11711,647360
25%	27,0335	1010,555831	1176,175479
50%	54,067	562,831846	621,113318
75%	81,1005	375,378013	421,967269
100%	108,134	305,414590	136,958264

## 10). Analisis NGR 40 Ohm

$$I = \frac{E_{ph}}{R_{NGR}}$$

$$I = \frac{20000/\sqrt{3}}{40}$$

$$I = 288,68 \text{ A}$$

Dari hasil perhitungan besar arus gangguan yang dapat ditahan oleh NGR 40 Ohm diperoleh hasil 288,68A. Pada hasil perhitungan gangguan hubung singkat satu fasa ke tanah dengan menggunakan NGR 40 Ohm diperoleh arus gangguan sebesar 288,41 A. Sedangkan pada gangguan hubung singkat dua fasa ke tanah dengan menggunakan NGR 40 Ohm diperoleh hasil 11711,647360 A. Ini menunjukkan bahwa pemilihan tahanan NGR 40 ohm untuk membatasi besar arus gangguan satu fasa ke tanah ke tanah sudah tepat. Namun, untuk gangguan dua fasa ke tanah nilai NGR 40 Ohm tidak dapat membatasi arus gangguan karena nilai arus gangguannya melebihi batas minimal yang dapat di terima oleh NG.

## C. Setting Ground Fault Relay

- 1). Penyetelan Arus GFR dengan Nilai R=40 Ohm  
Penyetelan Arus Primer pada Sisi Outgoing

$$I_{set(primer)} = 10\% \times I_{hs \ 1 \ fasa(100\%)}$$

$$= 10\% \times 114,361966$$

$$= 11,436196 \text{ A}$$

Penyetelan Arus Primer pada Sisi Incoming

$$I_{set(primer)} = 8\% \times I_{hs \ 1 \ fasa(100\%)}$$

$$= 8\% \times 114,361966$$

$$= 9,148957 \text{ A}$$

- 2). Penyetelan Arus GFR dengan Nilai R=0 Ohm  
Penyetelan Arus Primer pada Sisi Outgoing

$$I_{set(primer)} = 10\% \times I_{hs \ 1 \ fasa(100\%)}$$

$$= 10\% \times 136,958264$$

$$= 13,695826 \text{ A}$$

Penyetelan Arus Primer pada Sisi Incoming

$$I_{set(primer)} = 8\% \times I_{hs \ 1 \ fasa(100\%)}$$

$$= 8\% \times 136,958264$$

$$= 10,956661 \text{ A}$$

- 3). Penyetelan TMS dengan Nilai R=40 Ohm  
Penyetelan TMS pada Sisi Outgoing

$$TMS = \frac{0.3 \left[ \left( \frac{I_{hs}}{I_{set \ primer}} \right)^{0.02} - 1 \right]}{0.14}$$

$$= \frac{0.3 \left[ \left( \frac{288,417225}{11,436196} \right)^{0.02} - 1 \right]}{0.14}$$

$$= 0,1428$$

Penyetelan TMS pada Sisi Incoming

$$TMS = \frac{0.3 \left[ \left( \frac{I_{hs}}{I_{set \ primer}} \right)^{0.02} - 1 \right]}{0.14}$$

$$= \frac{0.3 \left[ \left( \frac{288,417225}{9,148957} \right)^{0.02} - 1 \right]}{0.14}$$

$$= 0,3572$$

- 4). Penyetelan TMS dengan Nilai R=0 Ohm  
Penyetelan TMS Sisi Outgoing

$$TMS = \frac{0.3 \left[ \left( \frac{I_{hs}}{I_{set \ primer}} \right)^{0.02} - 1 \right]}{0.14}$$

$$= \frac{0.3 \left[ \left( \frac{6824,564248}{13,695826} \right)^{0.02} - 1 \right]}{0.14}$$

$$= 0,2834$$

Penyetelan TMS Sisi Incoming



$$\begin{aligned}
 TMS &= \frac{0.3 \left[ \left( \frac{I_{hs}}{I_{set\ primer}} \right)^{0.02} - 1 \right]}{0.14} \\
 &= \frac{0.3 \left[ \left( \frac{6824,564248}{10,956661} \right)^{0.02} - 1 \right]}{0.14} \\
 &= 0,6866
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 t &= \frac{0.14\ tms}{\left( \frac{I_{fault}}{I_{set}} \right)^{0.02} - 1} \\
 &= \frac{0.14 \times 0,6866}{\left( \frac{517,405426}{10,956661} \right)^{0.02} - 1} \\
 &= 1,199\ s
 \end{aligned}$$

**D. Penyetelan Waktu GFR**

Setelah memperoleh nilai penyetelan arus GFR dan TMS, langkah berikutnya adalah melakukan perhitungan waktu kerja GFR dengan menggunakan panjang penyulang dengan pengandaian lokasi gangguan 0%, 25%, 50%, 75% dan 100%.

1). Penyetelan Waktu GFR dengan Nilai R=40 Ohm

Penyetelan Waktu Kerja Sisi Outgoing  
 Pada lokasi gangguan 25%

$$\begin{aligned}
 t &= \frac{0.14\ tms}{\left( \frac{I_{fault}}{I_{set}} \right)^{0.02} - 1} \\
 &= \frac{0.14 \times 0,1428}{\left( \frac{232,353636}{11,436196} \right)^{0.02} - 1} \\
 &= 0,322\ s
 \end{aligned}$$

Penyetelan Waktu Kerja Sisi Incoming

$$\begin{aligned}
 t &= \frac{0.14\ tms}{\left( \frac{I_{fault}}{I_{set}} \right)^{0.02} - 1} \\
 &= \frac{0.14 \times 0,3572}{\left( \frac{232,353636}{9,148957} \right)^{0.02} - 1} \\
 &= 0,748\ s
 \end{aligned}$$

2). Penyetelan Waktu GFR dengan Nilai R=0 Ohm

Pada lokasi gangguan 25%  
 Pada Sisi Outgoing

$$\begin{aligned}
 t &= \frac{0.14\ tms}{\left( \frac{I_{fault}}{I_{set}} \right)^{0.02} - 1} \\
 &= \frac{0.14 \times 0,2834}{\left( \frac{517,405426}{13,695826} \right)^{0.02} - 1} \\
 &= 0,526\ s
 \end{aligned}$$

Pada sisi Incoming

Tabel 4.16 Perhitungan Waktu Kerja GFR

Gangguan Pada Lokasi (%)	Perhitungan Waktu Kerja Relay				
	Jarak Gangguan (Km)	Outgoing R=40 Ohm	Incoming R=40 Ohm	Outgoing R=0 Ohm	Incoming R=0 Ohm
0%	0	0,299	0,700	0,3	0,69
25%	27,0335	0,322	0,748	0,526	1.199
50%	54,067	0,354	0,817	0,646	1,454
75%	81,1005	0,388	0,891	0,748	1.664
100%	108,134	0,424	0,965	0,841	1.855

**E. Perhitungan Dengan Matlab**

Adapun langkah-langkah dalam perhitungan menggunakan MATLAB adalah sebagai berikut:

1. Membuka *Software* MATLAB
2. Membuat lembar kerja baru
3. Membuat program *m-file*
4. Melakukan proses *Run*
5. *Input Data*  
 Data IHS3Max  
 Tegangan Primer dan Sekunder Trafo  
 Daya Transformator  
 Impedansi Transformator  
 Impedansi Penyulang  
 Panjang Penyulang  
 Tahanan NGR
6. Menampilkan Hasil

Tabel 18. Hasil Perhitungan MATLAB

Gangguan Pada Lokasi (%)	Perhitungan Hubung Singkat Satu Fasa Ke Tanah				
	Jarak Gangguan (Km)	Manual		MATLAB	
		Dengan R=40 Ohm	Dengan R=0 Ohm	Dengan R=40 Ohm	Dengan R=0 Ohm
0%	0	288,417225	6.824,564258	288,4172	6.824,3402
25%	27,0335	232,353636	517,405426	232,3535	517,4042
50%	54,067	178,374110	268,655033	178,374	268,6547
75%	81,1005	140,383485	181,427013	140,3834	181,4269
100%	108,134	114,361966	136,958264	114,3619	136,9582



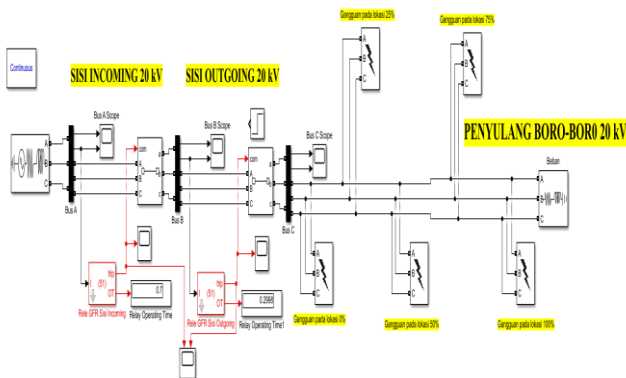
Tabel 19. Hasil Perhitungan MATLAB

Gangguan Pada Lokasi (%)	Perhitungan Waktu Kerja Relay								
	Jarak Gangguan (Km)	Manual				MATLAB			
		Out going	In coming	Out going	In coming	Out going	In coming	Out going	In coming
		R=40 Ohm	R=40 Ohm	R=0 Ohm	R=0 Ohm	R=40 Ohm	R=40 Ohm	R=0 Ohm	R=0 Ohm
0%	0	0,299	0,700	0,3	0,69	0,3	0,7	0,3	0,7
25%	27,0335	0,322	0,748	0,526	1,199	0,322	0,748	0,646	1,199
50%	54,067	0,354	0,817	0,646	1,454	0,354	0,817	0,646	1,454
75%	81,1005	0,388	0,891	0,748	1,664	0,388	0,891	0,748	1,664
100%	108,134	0,424	0,965	0,841	1,855	0,424	0,965	0,841	1,855

Dari hasil perhitungan manual dan perhitungan matlab tidak terdapat perbedaan yang signifikan bahkan terlihat kedua hasil perhitungan yang diperoleh sama. Sehingga hasil perhitungan manual sudah memperoleh hasil tepat karena hasil perhitungan dengan MATLAB pun menunjukkan hasil sama dengan hasil perhitungan manual.

F. Simulasi Waktu Kerja GFR dengan MATLAB/SIMULINK

Setelah memperoleh nilai waktu kerja GFR, maka langkah selanjutnya adalah melakukan simulasi dengan bantuan aplikasi untuk mengaplikasikan hasil perhitungan yang diperoleh ke dalam sebuah sistem distribusi. Aplikasi yang digunakan adalah MATLAB/ SIMULINK. Pada aplikasi MATLAB/ SIMULINK akan dilakukan simulasi waktu kerja rele GFR yang telah didapatkan dari hasil perhitungan dalam sebuah sistem distribusi, dan dari simulasi tersebut dapat dilihat apakah waktu setting relay telah tepat atau belum. Gambar 2 memperlihatkan rangkaian simulasi sistem GI Kendari new 150 kV dengan menggunakan MATLAB/ SIMULINK.

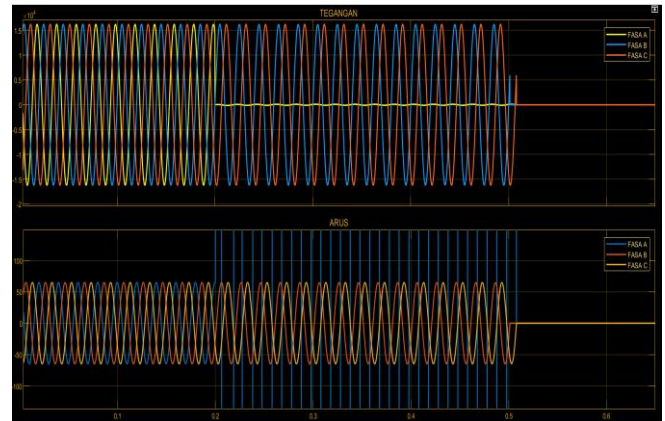


Gambar 2. Gambar Simulasi GI Kendari New 150 kV

1) Simulasi Waktu Kerja GFR Pada Sisi Outgoing dan Incoming dengan Nilai R=40 Ohm

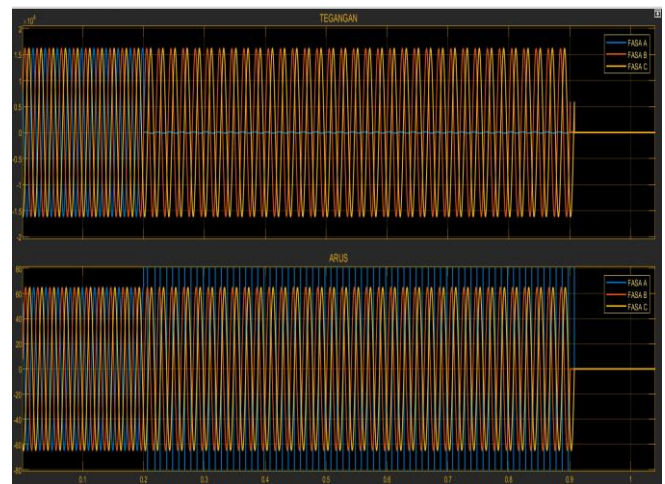
Dalam mensimulasikan waktu kerja GFR dengan nilai R=40 Ohm, ada beberapa data yang dimasukkan kedalam aplikasi seperti nilai Isetprimer pada sisi Outgoing dan Incoming, nilai TMS sisi Outgoing dan Incoming, arus gangguan satu fasa ke tanah dengan pengandaian lokasi 0%-100% dan juga rasio CT. Dalam penginputan perlu diperhatikan antara inputan untuk sisi outgoing dan

incoming memiliki perbedaan untuk nilai Isetprimer dan TMS, jadi hal tersebut perlu diperhatikan agar tidak terjadi kekeliruan. Setelah melakukan penginputan data yang dibutuhkan maka akan dapat diperoleh gambar settingan waktu dari relay GFR. Gambar 3 memperlihatkan hasil simulasi gangguan pada lokasi 0% pada sisi outgoing, sedangkan Gambar 4 pada sisi incoming.



Gambar 3. Gangguan pada lokasi 0% sisi Outgoing

Pada Gambar 3 dapat terlihat bahwa gangguan terjadi pada waktu 0.2 detik, dimana terjadi tegangan turun pada fasa A dan arus naik pada fasa A. Pada pengandaian lokasi gangguan 0% waktu kerja yang GFR yang diperoleh sebesar 0.299. Hasil Running MATLAB menunjukkan bahwa relay memutuskan gangguan pada waktu 0.5 detik, dimana waktu awal gangguan ditambah waktu trip ialah : 0.2+0.299 = 0.5 detik. Ini menunjukkan bahwa relay telah bekerja dengan baik dan sesuai dengan hasil perhitungan.



Gambar 4. Gangguan pada lokasi 0% sisi Incoming

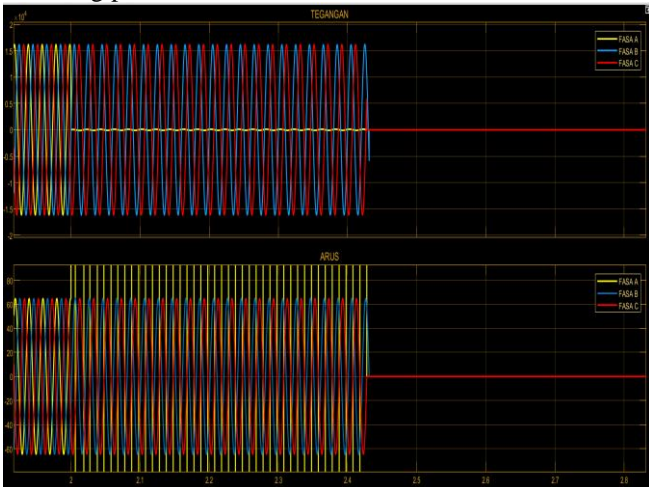
Pada Gambar 4 dapat terlihat bahwa gangguan terjadi pada waktu 0.2 detik, dimana terjadi tegangan turun pada fasa A dan arus naik pada fasa A. Pada pengandaian lokasi gangguan 0% sisi incoming waktu kerja yang GFR yang diperoleh sebesar 0.7 detik. Hasil Running

MATLAB menunjukkan bahwa relay memutuskan gangguan pada waktu 0.5 detik, dimana waktu awal gangguan ditambah waktu trip ialah  $0.2+0.7 = 0.9$  detik. Ini menunjukkan bahwa relay telah bekerja dengan baik dan sesuai dengan hasil perhitungan.



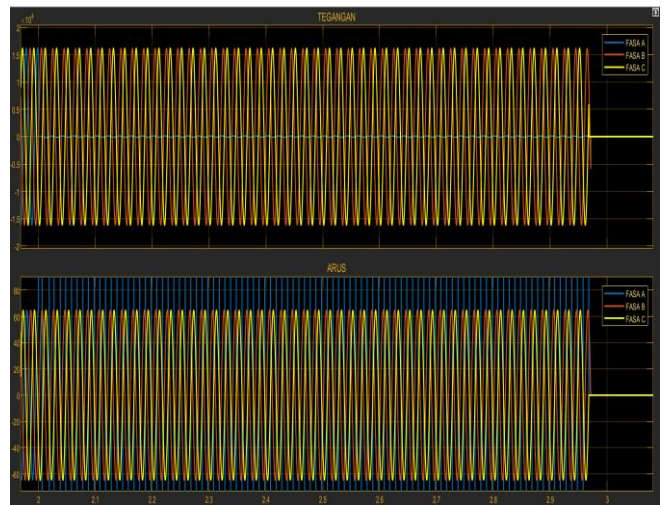
Gambar 5. Waktu Kerja GFR

Setelah melakukan simulasi terlihat bahwa antara relay sisi outgoing dan incoming telah terkoordinasi dengan baik seperti terlihat pada Gambar 5 dimana, sisi outgoing menutup terlebih dahulu pada waktu 0.5 detik dan sisi incoming pada waktu 0.9 detik.



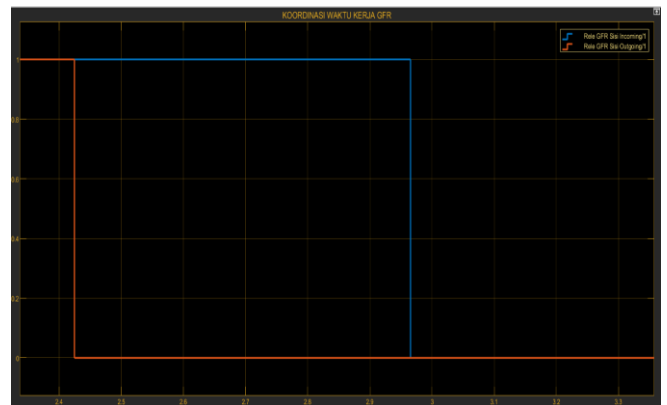
Gambar 6. Gangguan pada lokasi 100% sisi Outgoing

Pada Gambar 6 dapat terlihat bahwa gangguan terjadi gangguan pada waktu 2 detik dimana terjadi tegangan turun pada fasa A dan arus naik pada fasa A. Pada lokasi gangguan 100% sisi outgoing waktu kerja yang GFR yang diperoleh sebesar 0.424 detik. Hasil *Running* MATLAB menunjukkan bahwa relay memutuskan gangguan pada waktu 2.424 detik, dimana waktu awal gangguan ditambah waktu trip ialah  $2+0.424= 2.424$  detik. Ini menunjukkan bahwa relay telah bekerja dengan baik dan sesuai dengan hasil perhitungan.



Gambar 7. Gangguan pada lokasi 100% sisi Incoming

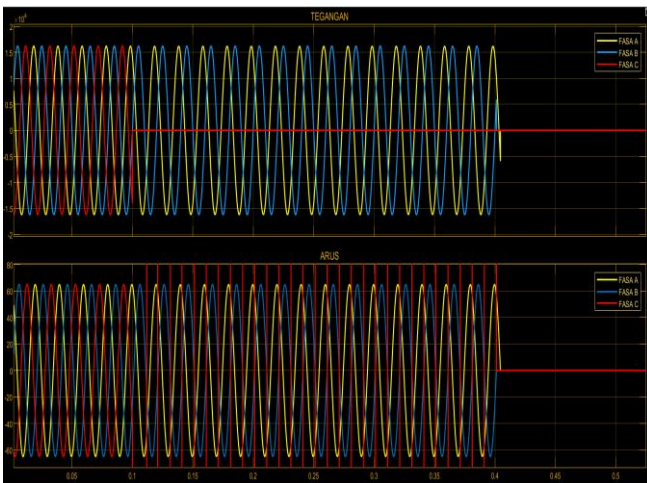
Pada Gambar 7 dapat terlihat gangguan pada lokasi 100% pada sisi Incoming, pada gambar tersebut terlihat bahwa gangguan terjadi tegangan turun pada fasa B dan arus naik pada fasa B. Pada lokasi gangguan 100% sisi incoming waktu kerja yang GFR yang diperoleh sebesar 0.965 detik. Hasil *Running* MATLAB menunjukkan bahwa relay memutuskan gangguan pada waktu 2.965 detik, dimana waktu awal gangguan ditambah waktu trip ialah  $2+0.965= 2.965$  detik. Ini menunjukkan bahwa relay telah bekerja dengan baik dan sesuai dengan hasil perhitungan.



Gambar 8. Waktu Kerja Relay GFR

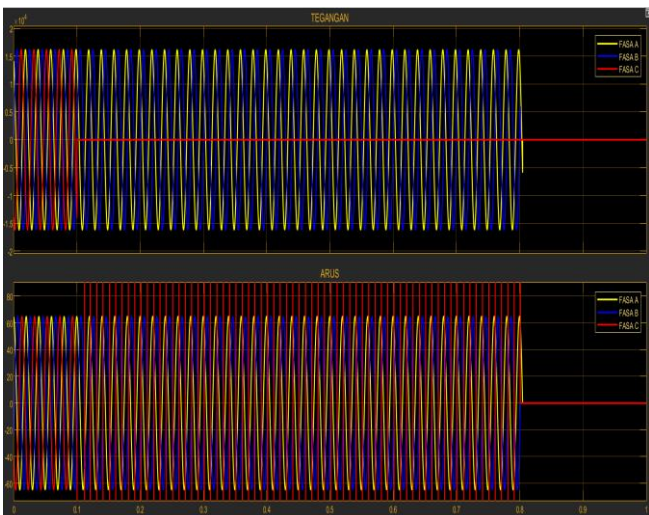
Setelah melakukan simulasi terlihat bahwa antara relay sisi outgoing dan incoming telah terkoordinasi dengan baik seperti terlihat pada Gambar 8, dimana sisi outgoing menutup terlebih dahulu pada waktu 2.424 detik dan sisi incoming 2.965 detik

2) Simulasi Waktu Kerja GFR Pada Sisi Outgoing dan Incoming dengan Nilai  $R=0$  Ohm



Gambar 9. Gangguan pada lokasi 100% sisi Outgoing

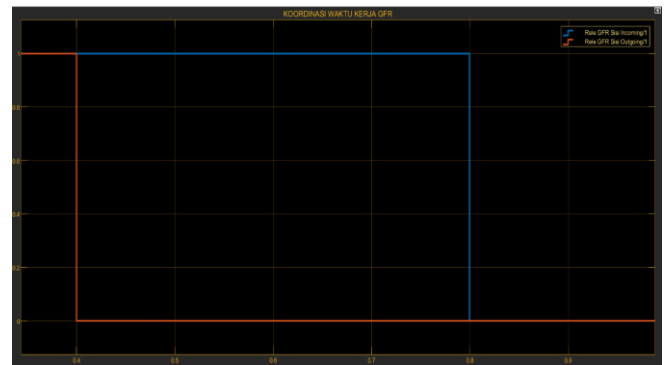
Pada Gambar 9 dapat terlihat bahwa gangguan terjadi gangguan pada waktu 0.1 detik, dimana terjadi tegangan turun pada fasa C dan arus naik pada fasa C. Pada lokasi gangguan 0% waktu kerja yang GFR yang diperoleh sebesar 0.3 detik. Hasil *Running* MATLAB menunjukkan bahwa relay memutus gangguan pada waktu 0.4 detik, dimana waktu awal gangguan ditambah waktu trip ialah :  $0.1+0.3=0.4$  detik. Ini menunjukkan bahwa relay telah bekerja dengan baik dan sesuai dengan hasil perhitungan.



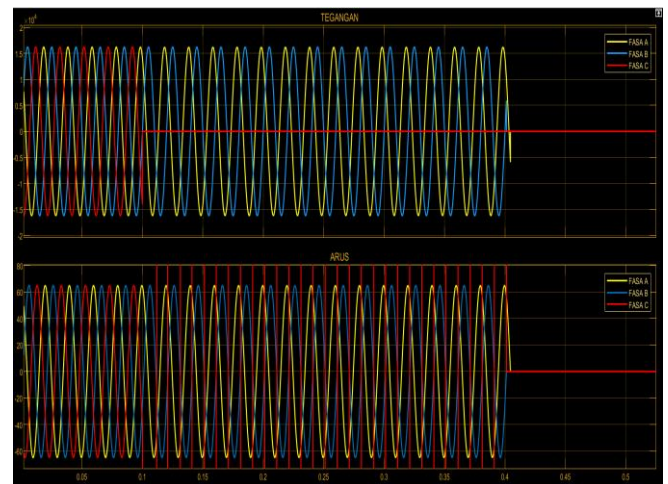
Gambar 10. Gangguan pada lokasi 0% sisi Incoming

Pada Gambar 10 dapat terlihat bahwa gangguan terjadi gangguan pada waktu 0.1 detik, dimana terjadi tegangan turun pada fasa C dan arus naik pada fasa C. Pada lokasi gangguan 0% sisi incoming waktu kerja yang GFR yang diperoleh sebesar 0.7 detik. Hasil *Running* MATLAB menunjukkan bahwa relay memutus gangguan pada waktu 0.1 detik, dimana waktu awal gangguan ditambah waktu trip ialah:  $0.1+0.7 = 0.8$  detik seperti terlihat pada Gambar 11.

Ini menunjukkan bahwa relay telah bekerja dengan baik dan sesuai dengan hasil perhitungan.



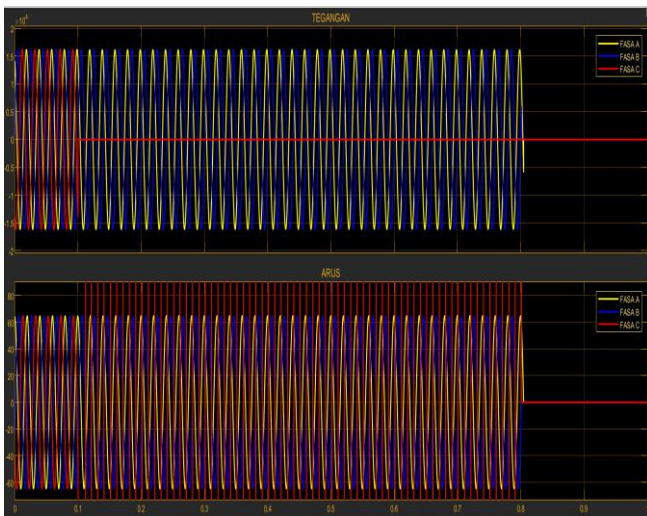
Gambar 11. Waktu Kerja Relay GFR



Gambar 12. Gangguan pada lokasi 100% sisi Outgoing

Pada Gambar 12 dapat terlihat bahwa gangguan terjadi gangguan pada waktu 0.1 detik, dimana terjadi tegangan turun pada fasa C dan arus naik pada fasa C. Pada lokasi gangguan 0% waktu kerja yang GFR yang diperoleh sebesar 0.3 detik. Hasil *Running* MATLAB menunjukkan bahwa relay memutus gangguan pada waktu 0.4 detik, dimana waktu awal gangguan+waktu trip ialah:  $0.1+0.3 = 0.4$  detik. Ini menunjukkan bahwa relay telah bekerja dengan baik dan sesuai dengan hasil perhitungan.





Gambar 13. Gangguan pada lokasi 100% sisi Incoming

Pada Gambar 13 dapat terlihat bahwa gangguan terjadi gangguan pada waktu 0.1 detik, dimana terjadi tegangan turun pada fasa C dan arus naik pada fasa C. Pada pengandaian lokasi gangguan 0% sisi incoming waktu kerja yang GFR yang diperoleh sebesar 0.7 detik. Hasil *Running* MATLAB menunjukkan bahwa relay memutuskan gangguan pada waktu 0.1 detik, dimana waktu awal gangguan ditambah waktu trip ialah  $0.1+0.7 = 0.8$  detik. Ini menunjukkan bahwa relay telah bekerja dengan baik dan sesuai dengan hasil perhitungan.



Gambar 14. Waktu Kerja Relay GFR

Setelah melakukan simulasi terlihat bahwa antara relay sisi outgoing dan incoming telah terkoordinasi dengan baik seperti terlihat pada Gambar 14, dimana sisi outgoing menutup terlebih dahulu pada waktu 0.4 detik dan sisi incoming 0.8 detik.

#### IV. KESIMPULAN

Dari hasil analisis perhitungan dan simulasi yang telah dilakukan, maka dapat disimpulkan bahwa:

1. Nilai NGR yang terpasang pada Gardu Induk Kendari New 150 kV yaitu sebesar 40 Ohm, berdasarkan hasil

analisis yang telah dilakukan pemasangan NGR dengan nilai 40 Ohm telah tepat, karena dari hasil perhitungan besar arus gangguan yang dapat ditahan NGR adalah sebesar 288,68 A. Dan pada hasil perhitungan arus gangguan hubung singkat satu fasa ke tanah dengan penggunaan NGR 40 Ohm memiliki arus gangguan terbesar adalah 288,41 A maka dengan itu penggunaan NGR dengan besar tahanan 40 Ohm untuk membatasi gangguan satu fasa ke tanah telah tepat dilakukan. Namun untuk membatasi gangguan dua fasa ke tanah NGR tidak dapat menahan karena nilai gangguan yang sangat besar melampaui kapasitas yang dapat ditahan NGR, dimana arus gangguannya sebesar 7650,255 A.

2. Besar arus gangguan satu fasa ke tanah dengan penggunaan NGR 40 Ohm, pada lokasi 0% bernilai 288,41 A. Sedangkan besar gangguan satu fasa ke tanah tanpa penggunaan NGR, pada lokasi gangguan 0% bernilai 6824,56 A. Dari masing-masing hasil perhitungan juga menunjukkan bahwa semakin jauh lokasi gangguan maka semakin kecil nilai gangguan yang terjadi.
3. Penggunaan NGR juga sangat mempengaruhi nilai besar gangguan karena apabila tidak menggunakan NGR arus gangguan satu fasa ke tanah pada lokasi 0% akan bernilai 6824,56A sedangkan menggunakan NGR bernilai 288,41.
4. Nilai waktu kerja GFR dengan nilai  $R=40$  Ohm sisi outgoing pada lokasi 0% sampai 100% adalah 0.299, 0.322, 0.354, 0.388 dan 0.424. Dan pada sisi incoming yaitu 0.7, 0.748, 0.817, 0.891 dan 0.965. Sedangkan pada GFR dengan nilai  $R=0$  sisi outgoing pada lokasi 0% sampai 100% adalah 0.3, 0.526, 0.646, 0.748 dan 0.841. Dan pada sisi incoming yaitu 0.69, 1.199, 1.454, 1.664 dan 1.855. Dari hasil yang diperoleh dapat dilihat bahwa selisih antara waktu kerja outgoing dan incoming sebesar 0.4 detik, dimana hal tersebut masih sesuai dengan standar.

#### DAFTAR ACUAN

- [1] M. Musaruddin and R. Zivanovic, Web Services for Fault Analysis in Smart Grid Applications, Australian Journal of Electrical and Electronic Engineering (AJEEE), Volume 8 Nomor 2, 2011.
- [2] CIGRE, 2008, New Trends for Automated Fault and Disturbance Analysis, Final Report by CIGRE WG B5-20, August, International Council on Large Electric Systems.
- [3] M. Kezunovic, C.C. Liu, J. McDonald & L.E. Smith, 2000, "Automated Fault Analysis", IEEE Tutorial.
- [4] P. Wahyudin, M. Musaruddin, H.T. Mokui, "Analisis penentuan lokasi gangguan hubung singkat pada Saluran Transmisi di Sulawesi Tenggara," Jurnal

- Fokus Elektroda , Volume 07 No 02, Tahun 2022.
- [5] M. Musaruddin and R. Zivanovic, Investigation of Power System Disturbances via Application Service Provider, IEEE 13th International Conference on Harmonics and Quality of Power (ICHQP 2008), Wollongong, Australia.
- [6] M. Musaruddin and R. Zivanovic, Automated Fault Analysis in the Indonesian Power Utility: A Case Study of South Sulawesi Transmission System, IEEE Australasian Universities Power Engineering Conference (AUPEC), Adelaide, Australia, 2009.
- [7] M. Musaruddin, M. Zaporoshenko and R. Zivanovic, Remote Protective Relay Testing, IEEE Australasian Universities Power Engineering Conference (AUPEC), Sydney, Australia, 2008.