

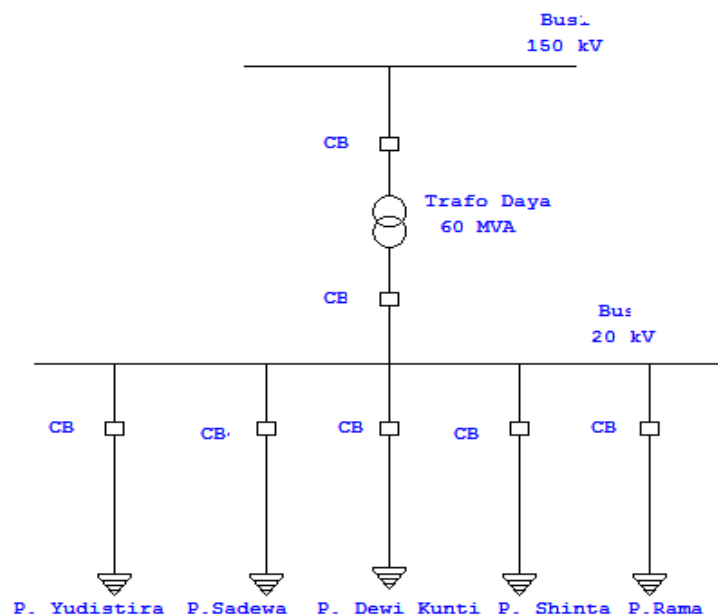


BAB IV

PERHITUNGAN DAN ANALISA

4. 1. Umum

Gardu Induk Talang Kelapa memiliki tiga buah transformator daya yang masing-masing memiliki kapasitas 60 MVA. Pada penulisan skripsi ini, penulis akan membahas setting rele pada transformator 3 dengan 5 penyulang yaitu penyulang Yudistira, Sadewa, Dewi Kunti, Sinta, dan Rama seperti yang terlihat pada gambar 4.1. Untuk pengamannya dipasang beberapa pengaman/rele yaitu untuk proteksi internal fault menggunakan Rele Diferensial, sedangkan untuk proteksi eksternal fault menggunakan Rele Arus Lebih (OCR) dan Rele Gangguan Tanah (GFR). Gangguan yang ditinjau yaitu gangguan hubung singkat dua fasa dan gangguan hubung singkat satu fasa ke tanah.



Gambar 4.1. Diagram Satu Garis Gardu Induk



4. 2. Data Teknis Peralatan Gardu Induk Talang Kelapa

Data teknis peralatan pada Gardu Induk Talang Kelapa berupa data teknis transformator daya, data NGR (Neutral Grounding Resistor), data penyulang, dan data jenis kawat penghantar beserta panjang saluran, yang dapat dilihat pada tabel 4.1, 4.2, 4.3, 4.4, 4.5

Tabel 4.1. Data Teknis Transformator Daya

No	Uraian	
1	Kapasitas daya	60 MVA
2	Tegangan	150/20 kV
3	Impedansi transformator	12,51 %
4	Hub. Belitan trafo	YNyno (d1)
5	Merk	UNINDO
6	Rasio CT 150 kV	300/5 A
7	Rasio CT 20 kV	2000/5 A

Tabel 4.2 Data Teknis NGR

No	Uraian	
1	Tahanan	40 Ω
2	Kemampuan arus	300 Ampere



Tabel 4.3 Data Teknis Penyulang

No.	Nama Penyulang	Rasio CT	OCR	
			Merk	Type
1.	Yudistira	800/ 5 A	Schneider	Micom P142
2.	Sadewa	800/ 5 A	Schneider	Micom P142
3.	Dewi Kunti	800/ 5 A	Schneider	Micom P142
4.	Shinta	800/5 A	Schneider	Micom P142
5.	Rama	800/5 A	Schneider	Micom P142

Tabel 4.4 Data Jenis Kawat Penghantar beserta Panjang Kawat yang digunakan

No	Nama Penyulang	Jenis Penghantar Yang Digunakan (kms)					
		A3C 35 mm ²	SKTM 70 mm ²	A3C 150mm ²	A3C 150mm ²	A3C 70mm ²	A3C 35mm ²
1.	Yudistira	-	6,465	20,227	0,514	-	-
2.	Sadewa	0,942	15,042	21,053	1,769	-	-
3.	Dewi Kunti	-	7,594	18,629	3,157	-	-
4.	Shinta	-	30,295	27,395	-	-	-
5.	Rama	-	-	18,8	-	6,1	-



Tabel 4.5 Nilai Impedansi Urutan Positif, Negatif, dan Nol Masing – Masing Kawat Penghantar

No.	Jenis Kabel	Impedansi Urutan Positif/Negatif (Ω)	Impedansi Urutan Nol (Ω)
1.	A3C 35mm ²	(0,9217 + j 0,3790)	(1,0697 + j 1,6665)
2.	A3C 70 mm ²	(0,4608 + j 0,3572)	(0,6088 + j 1,6447)
3.	A3C 150 mm ²	(0,2162 + j 0,3305)	(0,3631 + j 1,6180)
4.	SKTM 150mm ²	(0,263 + j 0,0974)	(0,4208 + j 0,24837)
5.	SKTM 240mm ²	(0,16 + j 0,42397)	(0,256 + j 0,23154)
6.	MVTIC 150 m ²	(0,206 + j 0,014)	(0,206 + j 0,014)



4. 3. Perhitungan

4. 3. 1. Impedansi Sumber

Berdasarkan hasil rekap arus hubung singkat gardu induk di Palembang (lihat pada lampiran 1) yang didapat dari PT. PLN (Persero) P3B Sumatera Selatan, besarnya arus hubung singkat pada Gardu Induk Talang Kelapa yakni:

$$I_{hs\ 3\phi} = 12018\ A$$

$$I_{hs\ 1\phi\ tanah} = 8029\ A$$

Dari data di atas dapat di cari nilai MVA hubung singkat, yaitu :

$$MVA_{hs\ 3\phi} = 150 \times 12,018 \times \sqrt{3} = 3122,36799\ MVA$$

$$MVA_{hs\ 1\phi\ tanah} = \frac{150 \times 8,029}{\sqrt{3}} = 695,33179\ MVA$$

$$MVA_{dasar} = 100\ MVA$$

Sehingga dapat dicari nilai arus dasarnya pada sisi 150 kV dan 20 kV yaitu :

❖ I_{dasar} sisi 150 kV :

$$I_{dasar} = \frac{MVA_{dasar} \times 1000}{\sqrt{3} \times kV_{dasar}}$$

$$I_{dasar} = \frac{100 \times 1000}{\sqrt{3} \times 150}$$

$$I_{dasar} = 384,90017\ A$$



❖ I_{dasar} sisi 20 kV :

$$I_{dasar} = \frac{MVA_{dasar} \times 1000}{\sqrt{3} \times kV_{dasar}}$$

$$I_{dasar} = \frac{100 \times 1000}{\sqrt{3} \times 20}$$

$$I_{dasar} = 2886,75135 \text{ A}$$

Maka dapat dicari nilai impedansi sumber urutan positif dan negatif yaitu :

❖ Impedansi dasar

$$Z_{dasar} = \frac{kV^2_{dasar}}{MVA_{dasar}}$$

$$Z_{dasar} = \frac{20^2}{100}$$

$$Z_{dasar} = 4 \Omega$$

❖ Nilai R_n

$$3 R_n = 3 \times 40$$

$$3 R_n = 120 \Omega$$

$$3 R_n = \frac{120 \Omega}{4 \Omega}$$

$$3 R_n = 30 \text{ pu}$$

❖ Impedansi Sumber sisi 150 kV (sisi primer) :

$$X_1 = X_2 = \frac{kV^2(\text{sisi primer trafo})}{MVA_{hs\ 3\phi}} = \frac{150^2}{3122,367991} = j 7,20606 \Omega$$



❖ Impedansi Sumber sisi 20 kV (sisi sekunder) :

$$\begin{aligned}
 X_1 = X_2 &= \frac{kV^2(\text{sisi sekunder trafo})}{kV^2(\text{sisi primer trafo})} \times X_s(\text{sisi primer}) \\
 &= \frac{20^2}{150^2} \times j 7,20606 \\
 &= j 0,12810 \Omega
 \end{aligned}$$

Nilai impedansi sumber urutan positif dan negative dalam satuan pu sebesar :

$$X_1 = X_2 = \frac{j 0,12811}{4} = j 0,03202 \text{ pu}$$

Untuk nilai impedansi sumber urutan nol yaitu :

$$\begin{aligned}
 I_{hs \ 1\emptyset \ ke \ tanah} &= \frac{I_{hs \ 1\emptyset \ ke \ tanah}}{I_{dasar \ sisi \ 150}} \\
 I_{hs \ 1\emptyset \ ke \ tanah} &= \frac{8029}{384,90017}
 \end{aligned}$$

$$I_{hs \ 1\emptyset \ ke \ tanah} = 20,85995 \text{ pu}$$

$$\begin{aligned}
 I_{hs \ 1\emptyset \ ke \ tanah} &= \frac{3 \times V_f}{X_1 + X_2 + X_0} \\
 20,85995 &= \frac{3 \times 1}{j 0,03202 + j 0,03202 + X_0}
 \end{aligned}$$

$$j 0,06404 + X_0 = \frac{3}{20,85995}$$

$$X_0 = j 0,14381 - j 0,06404$$



$$X_0 = j 0,07977 pu$$

4. 3. 2. Reaktansi Transformator

$$X_T = j 0,1251$$

$$X_{1T} = X_{2T} = X_T \times \frac{MVA_{baru}}{MVA_{lama}} \times \frac{kV^2_{lama}}{kV^2_{baru}}$$

$$X_{1T} = X_{2T} = j 0,1251 \times \frac{100}{60} \times \frac{20^2}{20^2}$$

$$X_{1T} = X_{2T} = j 0,2085 pu$$

Karena trafo tidak memiliki belitan delta maka reaktansi urutan nol berkisar dari 9 sampai 14 kali dari nilai reaktansi trafo urutan positif,

$$X_{0T} = (9 s/d14)X_{1T}$$

Diambil 10 kali dari nilai reaktansi trafo urutan positif, maka nilai reaktansi trafo urutan nol sebesar :

$$X_{0T} = 10 X_{1T}$$

$$X_{0T} = 10 \times j 0,2085$$

$$X_{0T} = j 2,085\Omega$$



4.3.3. Impedansi Penyulang

1. Penyulang Yudistira

❖ Impedansi Urutan Positif dan Negatif

$$Z_1 = Z_2 = [6,465 \times (0,4608 + j 0,3572)] \\ + [20,227 \times (0,2162 + j 0,3305)] \\ + [0,514 \times (0,263 + j 0,0974)]$$

$$Z_1 = Z_2 = (7,48733 + j 9,13540) \Omega$$

$$Z_1 = Z_2 = \frac{(7,48733 + j 9,13540)}{4}$$

$$Z_1 = Z_2 = (1,87183 + j 2,28385) pu$$

❖ Impedansi Urutan Nol

$$Z_0 = [6,465 \times (0,6088 + j 1,6447)] + [20,227 \times (0,3631 + j 1,6180)] + \\ [0,514 \times (0,4208 + j 0,24837)]$$

$$Z_0 = (11,49660 + j 43,48793) \Omega$$

$$Z_0 = \frac{(11,49660 + j 43,48793)}{4}$$

$$Z_0 = (2,87415 + j 10,87198) pu$$

2. Penyulang Sadewa

❖ Impedansi Urutan Positif dan Negatif

$$Z_1 = Z_2 = [0,942 \times (0,9217 + j 0,3790)] + [15,042 \times (0,4608 + \\ j 0,3572)] + [21,053 \times (0,2162 + j 0,3305)] \\ + [1,769 \times (0,263 + j 0,0974)]$$

$$Z_1 = Z_2 = (12,81650 + j 12,86033) \Omega$$

$$Z_1 = Z_2 = \frac{(12,81650 + j 12,86033)}{4}$$

$$Z_1 = Z_2 = (3,204125 + j 3,21508) pu$$



❖ Impedansi Urutan Nol

$$\begin{aligned}
 Z_0 &= [0,942 \times (1,0697 + j 1,6665)] + [15,042 \times (0,6088 + j 1,6447)] \\
 &\quad [21,053 \times (0,3631 + j 1,6180)] + [1,769 \times (0,4208 + j 0,24837)] \\
 Z_0 &= (18,55396 + j 60,81254)\Omega \\
 Z_0 &= \frac{(18,55396 + j 60,81254)}{4} \\
 Z_0 &= 4,63849 + j 15,20313 \text{ pu}
 \end{aligned}$$

3. Penyulang Dewi Kunti

❖ Impedansi Urutan Positif dan Negatif

$$\begin{aligned}
 Z_1 = Z_2 &= [7,594 \times (0,4608 + j 0,3572)] \\
 &\quad + [18,629 \times (0,2162 + j 0,3305)] \\
 &\quad + [3,157 \times (0,263 + j 0,0974)] \\
 Z_1 = Z_2 &= (8,35719 + j 9,17695)\Omega \\
 Z_1 = Z_2 &= \frac{(8,35719 + j 9,17695)}{4} \\
 Z_1 = Z_2 &= (2,08929 + j 2,29423) \text{ pu}
 \end{aligned}$$

❖ Impedansi Urutan Nol

$$\begin{aligned}
 Z_0 &= [7,594 \times (0,6088 + j 1,6447)] \\
 &\quad + [18,629 \times (0,3631 + j 1,6180)] \\
 &\quad + [3,157 \times (0,4208 + j 0,24837)] \\
 Z_0 &= (12,71588 + j 43,97454)\Omega \\
 Z_0 &= \frac{(12,71588 + j 43,97454)}{4} \\
 Z_0 &= (3,17897 + j 10,99363) \text{ pu}
 \end{aligned}$$



4. Penyulang Shinta

❖ Impedansi Urutan Positif dan Negatif

$$Z_1 = Z_2 = [30,295x(0,4608 + j 0,3572)] \\ + [27,395 x(0,2162 + j 0,3305)]$$

$$Z_1 = Z_2 = (19,88273 + j 19,87542)\Omega$$

$$Z_1 = Z_2 = \frac{(19,88273 + j 19,87542)}{4}$$

$$Z_1 = Z_2 = (4,97068 + j 4,96885)pu$$

❖ Impedansi Urutan Nol

$$Z_1 = Z_2 = [30,295x(0,6088 + j 1,6447)] \\ + [27,395 x(0,3631 + j 1,6180)]$$

$$Z_1 = Z_2 = (28,39072 + j 94,15129)\Omega$$

$$Z_1 = Z_2 = \frac{(28,39072 + j 94,15129)}{4}$$

$$Z_1 = Z_2 = (7,09768 + j 23,53782)pu$$

5. Penyulang Rama

❖ Impedansi Urutan Positif dan Negatif

$$Z_1 = Z_2 = [18,8 x (0,2162 + j 0,3305)] \\ + [6,1 x (0,206 + j 0,014)]$$

$$Z_1 = Z_2 = (5,32116 + j 6,2988) \Omega$$

$$Z_1 = Z_2 = \frac{(5,32116 + j 6,2988)}{4}$$

$$Z_1 = Z_2 = (1,33029 + j 1,5747) pu$$



❖ Impedansi Urutan Nol

$$Z_1 = Z_2 = [18,8 \times (0,3631 + j 1,6180)] \\ + [6,1 \times (0,206 + j 0,014)]$$

$$Z_1 = Z_2 = (8,08288 + j 30,5038)\Omega$$

$$Z_1 = Z_2 = \frac{(8,08288 + j 30,5038)}{4}$$

$$Z_1 = Z_2 = (2,02072 + j 7,62595)pu$$

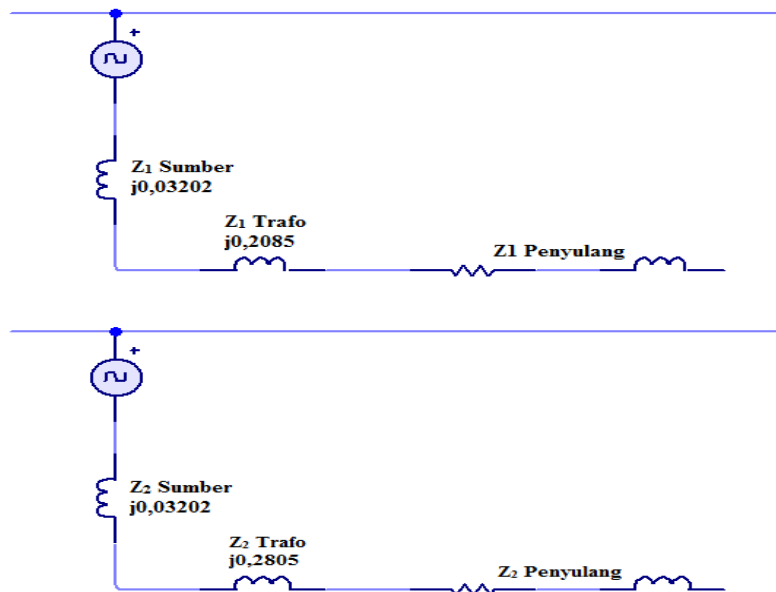
Tabel 4.6. Impedansi Masing-Masing Penyulang

No.	Nama Penyulang	Impedansi Positif/Negatif ($Z_1 = Z_2$)	Impedansi Urutan Nol (Z_0)
1.	Yudistira	$1,87183 + j 2,28385 pu$	$2,87415 + j 10,87198 pu$
2.	Sadewa	$3,204125 + j 3,21508 pu$	$4,63849 + j 15,20313 pu$
3.	Dewi Kunti	$2,08929 + j 2,29423 pu$	$3,17897 + j 10,99363 pu$
4.	Shinta	$4,97068 + j 4,96885 pu$	$7,09768 + j 23,53782 pu$
5.	Rama	$1,33029 + j 1,5747 pu$	$2,02072 + j 7,62595 pu$



4. 3. 4. Impedansi Ekivalen

- ❖ Impedansi Ekivalen Urutan Positif dan Negatif



Gambar 4.2 Rangkaian Ekivalen Impedansi Urutan Positif dan Negatif

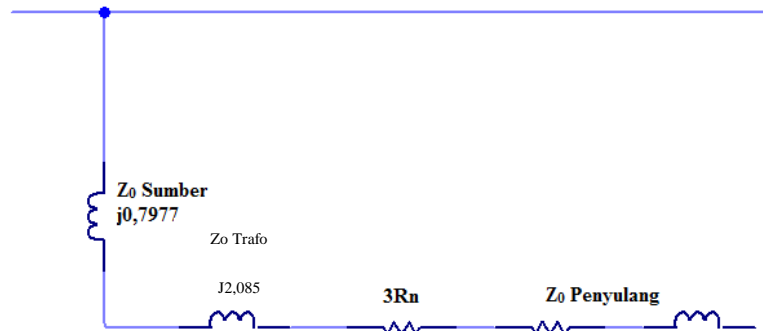
$$Z_{1 \text{ ekivalen}} = Z_{1 \text{ sumber}} + Z_{1 \text{ Trafo}} + Z_{1 \text{ penyulang}}$$

$$Z_{1 \text{ ekivalen}} = j 0,032026 + j 0,2085 + Z_{\text{penyulang}}$$

$$Z_{1 \text{ ekivalen}} = j 0,24052 + Z_{\text{penyulang}}$$



❖ Impedansi Ekivalen Urutan Nol



Gambar 4.3 Rangkaian Ekivalen Impedansi Urutan Nol

$$Z_{0 \text{ ekivalen}} = Z_{0 \text{ sumber}} + Z_{0 \text{ Trafo}} + 3 R_n + Z_{0 \text{ penyulang}}$$

$$Z_{0 \text{ ekivalen}} = j 0,07977 + j 2,085 + (3 \times 10) + Z_{0 \text{ penyulang}}$$

$$Z_{0 \text{ ekivalen}} = 30 + j 2,16477 + Z_{0 \text{ penyulang}}$$

1. Penyulang Yudistira

❖ Impedansi Ekivalen Urutan Positif dan Negatif

$$Z_{1 \text{ ekivalen}} = j 0,24052 + Z_{\text{penyulang}}$$

$$Z_{1 \text{ ekivalen}} = j 0,24052 + (1,87183 + j 2,28385)$$

$$Z_{1 \text{ ekivalen}} = (1,87183 + j2,52437) \text{ pu}$$

❖ Impedansi Ekivalen Urutan Nol

$$Z_{0 \text{ ekivalen}} = 30 + j 2,16477 + Z_{0 \text{ penyulang}}$$

$$Z_{0 \text{ ekivalen}} = 30 + j 2,16477 + (2,87415 + j 10,87198)$$



$$Z_0 \text{ ekivalen} = (32,87415 + j 13,03675)pu$$

2. Penyulang Sadewa

❖ Impedansi Ekivalen Urutan Positif dan Negatif

$$Z_1 \text{ ekivalen} = j 0,24052 + Z_{\text{penyulang}}$$

$$Z_1 \text{ ekivalen} = j 0,24052 + (3,204125 + j 3,21508)$$

$$Z_1 \text{ ekivalen} = (3,204125 + j 3,4556)pu$$

❖ Impedansi Ekivalen Urutan Nol

$$Z_0 \text{ ekivalen} = 30 + j 2,16477 + Z_0 \text{ penyulang}$$

$$Z_0 \text{ ekivalen} = 30 + j 2,16477 + (4,63849 + j 15,20313)$$

$$Z_0 \text{ ekivalen} = (34,63849 + j 17,3679)pu$$

3. Penyulang Dewi Kunti

❖ Impedansi Ekivalen Urutan Positif dan Negatif

$$Z_1 \text{ ekivalen} = j 0,24052 + Z_{\text{penyulang}}$$

$$Z_1 \text{ ekivalen} = j 0,24052 + (2,08929 + j 2,29423)$$

$$Z_1 \text{ ekivalen} = (2,08929 + j 2,53475)pu$$

❖ Impedansi Ekivalen Urutan Nol

$$Z_0 \text{ ekivalen} = 30 + j 2,16477 + Z_0 \text{ penyulang}$$

$$Z_0 \text{ ekivalen} = 30 + j 2,16477 + (3,17897 + j 10,99363)$$

$$Z_0 \text{ ekivalen} = (33,17897 + j 13,1584)pu$$



4. Penyulang Shinta

❖ Impedansi Ekuivalen Urutan Positif dan Negatif

$$Z_{1 \text{ ekuivalen}} = j 0,24052 + Z_{\text{penyulang}}$$

$$Z_{1 \text{ ekuivalen}} = j 0,24052 + (4,97068 + j 4,96885)$$

$$Z_{1 \text{ ekuivalen}} = (4,97068 + j 5,20937)pu$$

❖ Impedansi Ekuivalen Urutan Nol

$$Z_{0 \text{ ekuivalen}} = 30 + j 2,16477 + Z_{0 \text{ penyulang}}$$

$$Z_{0 \text{ ekuivalen}} = 30 + j 2,16477 + (7,09768 + j 23,53782)$$

$$Z_{0 \text{ ekuivalen}} = (37,09768 + j 25,70259)pu$$

5. Penyulang Rama

❖ Impedansi Ekuivalen Urutan Positif dan Negatif

$$Z_{1 \text{ ekuivalen}} = j 0,24052 + Z_{\text{penyulang}}$$

$$Z_{1 \text{ ekuivalen}} = j 0,24052 + (1,33029 + j 1,5747)$$

$$Z_{1 \text{ ekuivalen}} = (1,33029 + j 1,81522)pu$$

❖ Impedansi Ekuivalen Urutan Nol

$$Z_{0 \text{ ekuivalen}} = 30 + j 2,16477 + Z_{0 \text{ penyulang}}$$

$$Z_{0 \text{ ekuivalen}} = 30 + j 2,16477 + (2,02072 + j 7,62595)$$

$$Z_{0 \text{ ekuivalen}} = (32,02072 + j 9,79072)pu$$



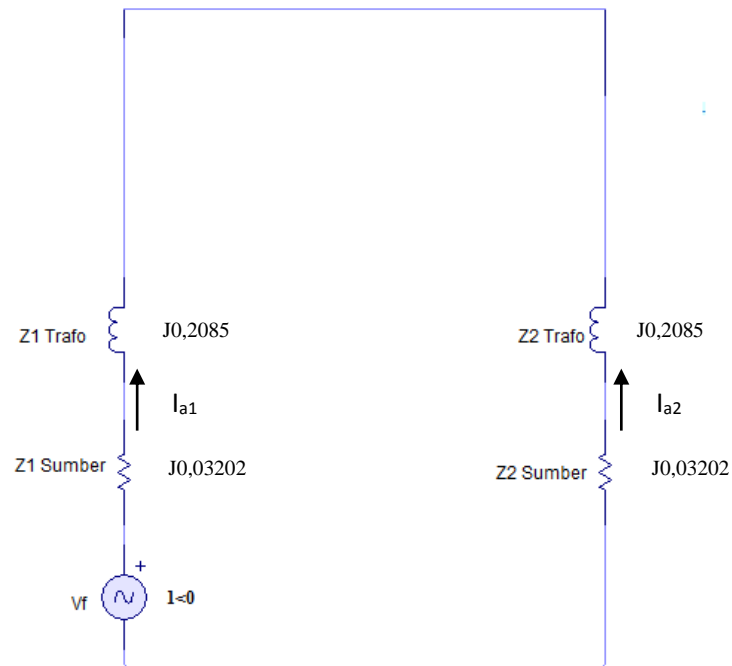
Tabel 4.7. Impedansi Ekuivalen Masing-Masing Penyulang

No	Nama Penyulang	Impedansi Urutan Positif/Negatif ($Z_1 = Z_2$)	Impedansi Urutan Nol (Z_0)
1	Yudistira	$(1,87183 + j 2,52437)pu$	$(32,87415 + j 13,03675) pu$
2	Sadewa	$(3,204125 + j 3,4556)pu$	$(34,63849 + j 17,3679) pu$
3	Dewi Kunti	$(2,08979 + j 2,53475)pu$	$(33,17897 + j 13,1584) pu$
4.	Shinta	$(4,97068 + j 5,20937) pu$	$(37,09768 + j 25,70259) pu$
5.	Rama	$(1,33029 + j 1,81522)pu$	$(32,02072 + j 9,79072) pu$

4.3.5. Arus Hubung Singkat

- ❖ Perhitungan Gangguan Hubung Singkat Pada Transformator

1. Gangguan hubung singkat 2 fasa



Gambar 4.4. Diagram Impedansi Gangguan Hubung Singkat Dua Fasa

$$I_{hs\ 2\phi} = -j\sqrt{3} I_{a1}$$

Dimana :

$$I_{a1} = \frac{V_f}{Z_1 + Z_2}$$

$$I_{a1} = \frac{V_f}{2 \times (Z_1)}$$

$$I_{a1} = \frac{1}{2 \times (j\ 0,03202 + j\ 0,2085)}$$

$$I_{a1} = \frac{1}{j\ 0,48104}$$

$$I_{a1} = \frac{1}{0,48104 \angle 90^\circ}$$

$$I_{a1} = 2,07882 \angle -90^\circ pu$$



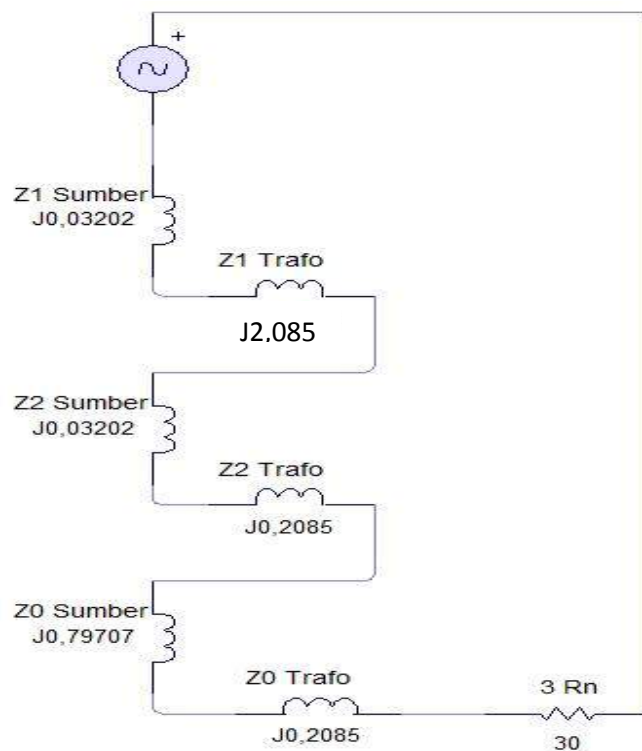
$$I_{hs\ 2\phi} = -j\sqrt{3} I_{a1}$$

$$I_{hs\ 2\phi} = -j\sqrt{3} (2,07882 \angle -90^\circ)$$

$$I_{hs\ 2\phi} = (\sqrt{3} \angle -90^\circ) \times (2,07882 \angle -90^\circ)$$

$$I_{hs\ 2\phi} = 3,60062 \angle -180^\circ\ pu$$

2. Gangguan hubung singkat 1 fasa ke tanah





Gambar 4.5. Diagram Impedansi Gangguan Hubung Singkat Satu Fasa ke Tanah

$$I_{hs\ 1\phi\ tanah} = \frac{3V_f}{Z_1 + Z_2 + Z_0}$$

$$I_{hs\ 1\phi\ tanah} = \frac{3 \times 1}{[2 \times (j\ 0,03202 + j\ 0,2085)] + (30 + j\ 2,16477)}$$

$$I_{hs\ 1\phi\ tanah} = \frac{3}{30 + j\ 2,64581}$$

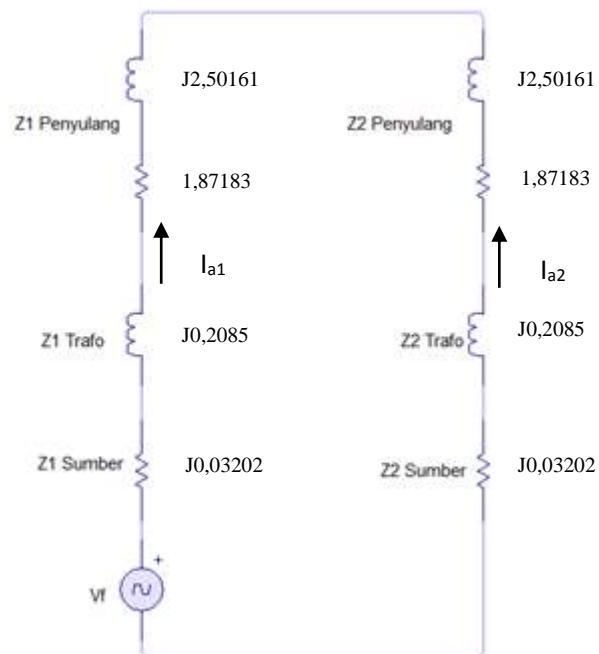
$$I_{hs\ 1\phi\ tanah} = \frac{3}{30,11644 \angle 5,04008^\circ}$$

$$I_{hs\ 1\phi\ tanah} = 0,09961 \angle -5,04008^\circ pu$$

❖ Perhitungan Gangguan Hubung Singkat Pada Penyulang 20 kV

1. Penyulang Yudistira

❖ Gangguan hubung singkat 2 fasa



Gambar 4.6. Diagram Impedansi Gangguan Hubung Singkat Dua Fasa

$$I_{hs\ 2\phi} = -j\sqrt{3} I_{a1}$$

Dimana :

$$I_{a1} = \frac{V_f}{Z_1 + Z_2}$$

$$I_{a1} = \frac{V_f}{2 \times (Z_1)}$$

$$I_{a1} = \frac{1}{2 \times (1,87183 + j\ 2,52437)}$$

$$I_{a1} = \frac{1}{3,74366 + j\ 5,04874}$$

$$I_{a1} = \frac{1}{6,28528 \angle 53,44292^\circ}$$

$$I_{a1} = 0,15910 \angle -53,44292^\circ \text{ pu}$$



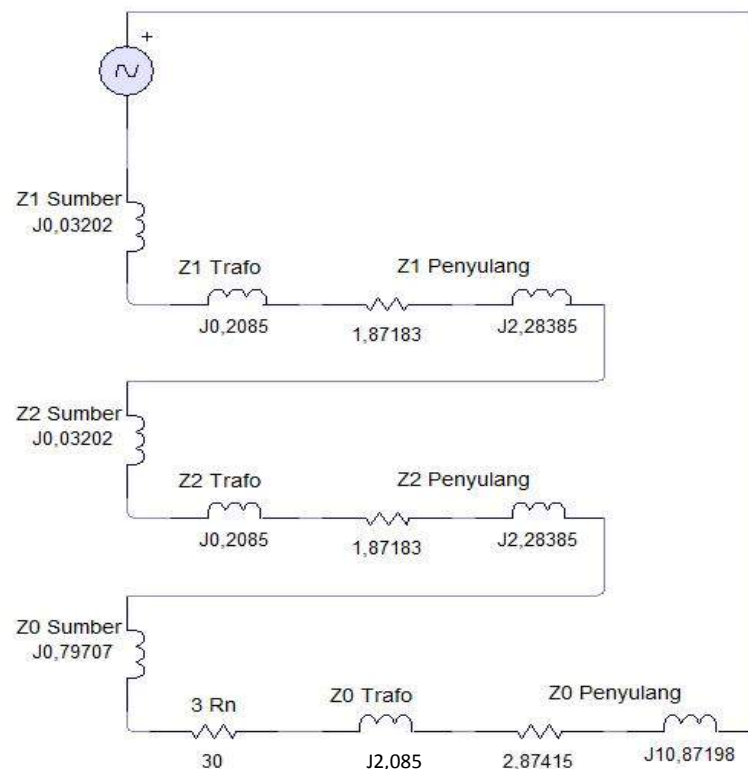
$$I_{hs\ 2\phi} = -j\sqrt{3}I_{a1}$$

$$I_{hs\ 2\phi} = -j\sqrt{3}(0,15910 \angle -53,44292^\circ)$$

$$I_{hs\ 2\phi} = (\sqrt{3} \angle -90^\circ) \times (0,15910 \angle -53,44292^\circ)$$

$$I_{hs\ 2\phi} = 0,27556 \angle -143,44292^\circ \text{ pu}$$

❖ Gangguan hubung singkat 1 fasa ke tanah



Gambar 4.7 Diagram Impedansi Gangguan Hubung Singkat Satu Fasa ke Tanah

$$I_{hs\ 1\phi\ \text{tanah}} = \frac{3V_f}{Z_1 + Z_2 + Z_0}$$

$$I_{hs\ 1\phi\ \text{tanah}} = \frac{3 \times 1}{[2 \times (1,87183 + j 2,50161)] + (32,87415 + j 13,03675)}$$



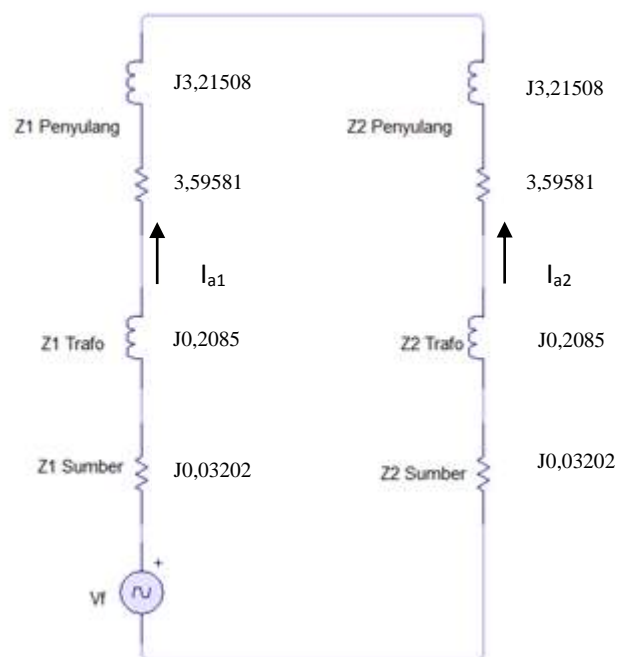
$$I_{hs\ 1\phi tanah} = \frac{3}{36,61781 + j\ 18,03997}$$

$$I_{hs\ 1\phi tanah} = \frac{3}{40,82039 \angle 26,22742^\circ}$$

$$I_{hs\ 1\phi tanah} = 0,07349 \angle -26,22742^\circ pu$$

2. Penyulang Sadewa

❖ Gangguan hubung singkat 2 fasa



Gambar 4.8 Diagram Impedansi Gangguan Hubung Singkat Dua Fasa

$$I_{hs\ 2\phi} = -j\sqrt{3} I_{a1}$$

Dimana :



$$I_{a1} = \frac{V_f}{Z_1 + Z_2}$$

$$I_{a1} = \frac{V_f}{2 \times (Z_1)}$$

$$I_{a1} = \frac{1}{2 \times (3,204125 + j 3,4556)}$$

$$I_{a1} = \frac{1}{6,40825 + j 6,9112}$$

$$I_{a1} = \frac{1}{9,42498 \angle 47,16249^\circ}$$

$$I_{a1} = 0,10610 \angle -47,16249^\circ pu$$

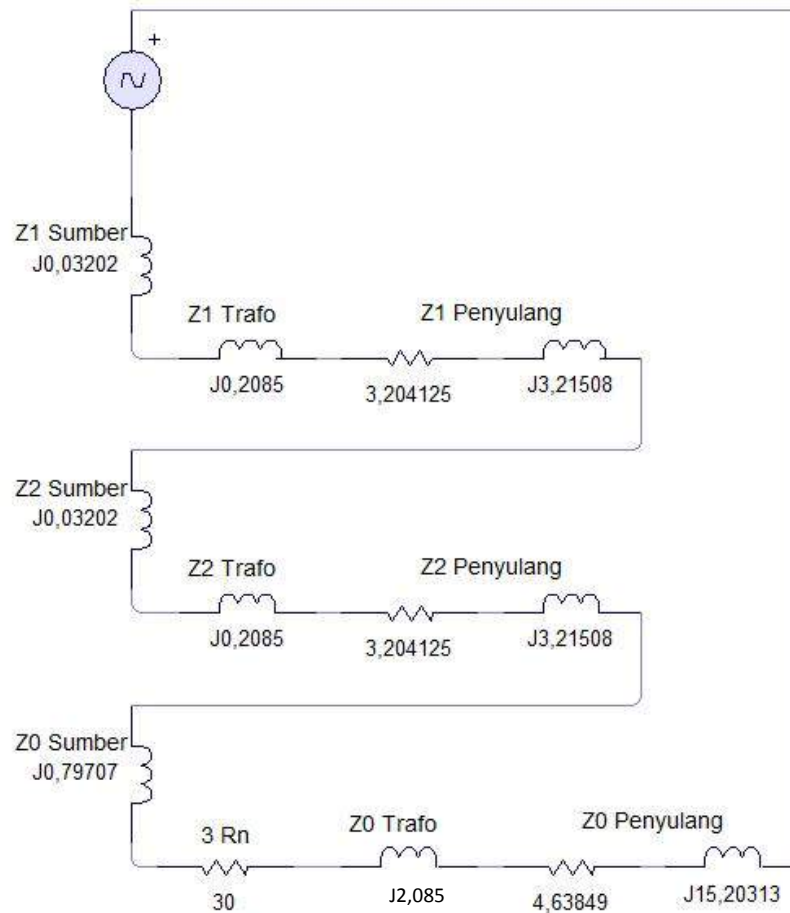
$$I_{hs\ 2\phi} = -j\sqrt{3} I_{a1}$$

$$I_{hs\ 2\phi} = -j\sqrt{3} (0,10610 \angle -47,16249^\circ)$$

$$I_{hs\ 2\phi} = (\sqrt{3} \angle -90^\circ) \times (0,10610 \angle -47,16249^\circ)$$

$$I_{hs\ 2\phi} = 0,18377 \angle -137,16249^\circ pu$$

❖ Gangguan hubung singkat 1 fasa ke tanah



Gambar 4.9 Diagram Impedansi Gangguan Hubung Singkat Satu Fasa ke Tanah

$$I_{hs\ 1\phi\ tanah} = \frac{3V_f}{Z_1 + Z_2 + Z_0}$$

$$I_{hs\ 1\phi\ tanah} = \frac{3 \times 1}{[2 \times (3,204125 + j\ 3,4556)] + (34,63849 + j\ 17,3679)}$$

$$I_{hs\ 1\phi\ tanah} = \frac{3}{41,04674 + j\ 24,2791}$$

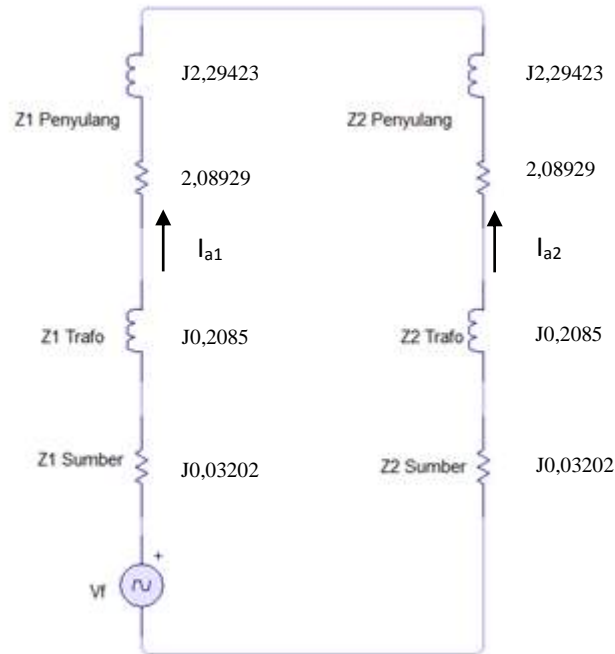
$$I_{hs\ 1\phi\ tanah} = \frac{3}{54,11752} < 26,65623^\circ$$

$$I_{hs\ 1\phi\ tanah} = 0,05543 < -26,65623^\circ pu$$

3. Penyulang Dewi Kunti



❖ Gangguan hubung singkat 2 fasa



Gambar 4.10 Diagram Impedansi Gangguan Hubung Singkat Dua Fasa

$$I_{hs\ 2\phi} = -j\sqrt{3}I_{a1}$$

Dimana :

$$I_{a1} = \frac{V_f}{Z_1 + Z_2}$$

$$I_{a1} = \frac{V_f}{2 \times (Z_1)}$$

$$I_{a1} = \frac{1}{2 \times (2,08929 + j\ 2,53475)}$$

$$I_{a1} = \frac{1}{4,17858 + j\ 5,0695}$$



$$I_{a1} = \frac{1}{6,56965 \angle 50,50264^\circ}$$

$$I_{a1} = 0,1521 \angle -50,50264^\circ pu$$

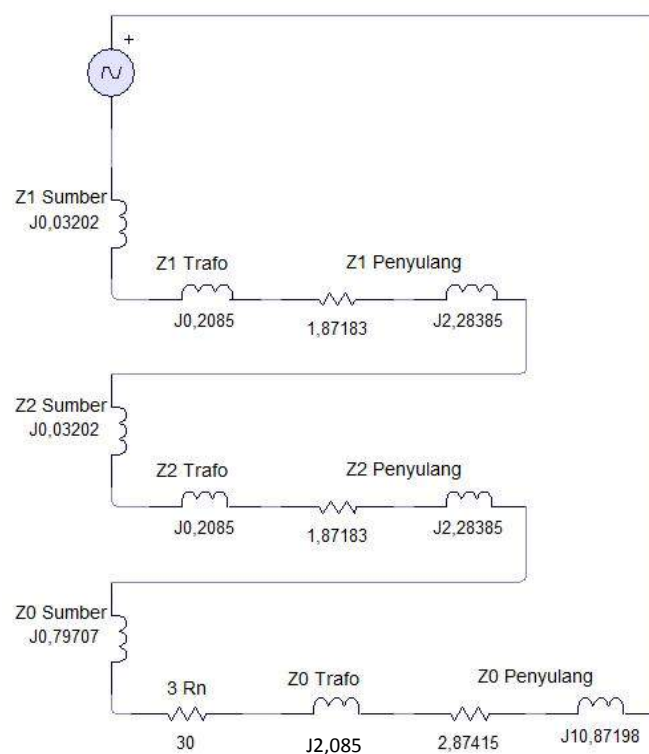
$$I_{hs\ 2\phi} = -j\sqrt{3} I_{a1}$$

$$I_{hs\ 2\phi} = -j\sqrt{3} (0,15221 \angle -50,50264^\circ)$$

$$I_{hs\ 2\phi} = (\sqrt{3} \angle -90^\circ) \times (0,15221 \angle -50,50264^\circ)$$

$$I_{hs\ 2\phi} = 0,26363 \angle -140,50264^\circ pu$$

❖ Gangguan hubung singkat 1 fasa ke tanah



Gambar 4.11 Diagram Impedansi Gangguan Hubung Singkat Satu Fasa ke Tanah



$$I_{hs\ 1\phi\ tanah} = \frac{3V_f}{Z_1 + Z_2 + Z_0}$$

$$I_{hs\ 1\phi\ tanah} = \frac{3 \times 1}{[2 \times (2,08929 + j\ 2,53475)] + (33,17897 + j\ 13,1584)}$$

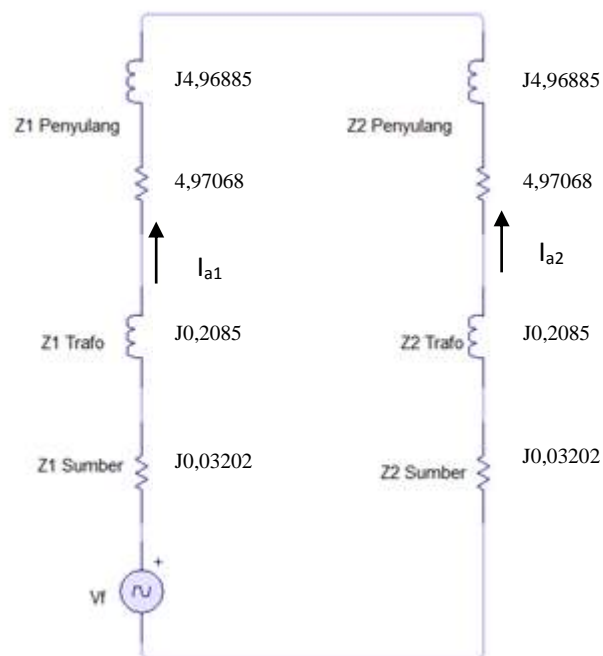
$$I_{hs\ 1\phi\ tanah} = \frac{3}{37,35755 + j\ 18,2279}$$

$$I_{hs\ 1\phi\ tanah} = \frac{3}{41,56732 \angle 26,00917^\circ}$$

$$I_{hs\ 1\phi\ tanah} = 0,07217 \angle -26,00917^\circ pu$$

4. Penyulang Shinta

❖ Gangguan hubung singkat 2 fasa



Gambar 4.12 Diagram Impedansi Gangguan Hubung Singkat Dua Fasa



$$I_{hs\ 2\phi} = -j\sqrt{3}I_{a1}$$

Dimana :

$$I_{a1} = \frac{V_f}{Z_1 + Z_2}$$

$$I_{a1} = \frac{V_f}{2 \times (Z_1)}$$

$$I_{a1} = \frac{1}{2 \times (4,97068 + j\ 5,20937)}$$

$$I_{a1} = \frac{1}{9,94136 + j\ 10,41874}$$

$$I_{a1} = \frac{1}{14,40072 \angle 46,34315^\circ}$$

$$I_{a1} = 0,069440 \angle -46,34315^\circ pu$$

$$I_{hs\ 2\phi} = -j\sqrt{3}I_{a1}$$

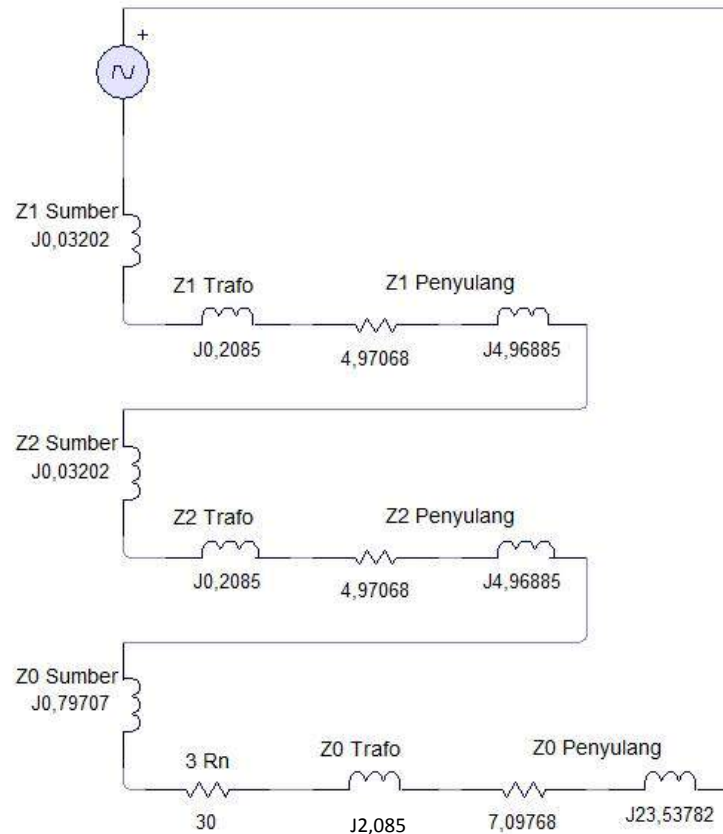
$$I_{hs\ 2\phi} = -j\sqrt{3}(0,069440 \angle -46,34315^\circ)$$

$$I_{hs\ 2\phi} = (\sqrt{3} \angle -90^\circ) \times (0,069440 \angle -46,34315^\circ)$$

$$I_{hs\ 2\phi} = 0,12027 \angle -136,34315^\circ pu$$



❖ Gangguan hubung singkat 1 fasa ke tanah



Gambar 4.13 Diagram Impedansi Gangguan Hubung Singkat Satu Fasa ke Tanah

$$I_{hs\ 1\phi\ tanah} = \frac{3V_f}{Z_1 + Z_2 + Z_0}$$

$$I_{hs\ 1\phi\ tanah} = \frac{3 \times 1}{[2 \times (4,97068 + j\ 5,20937)] + (37,09768 + j\ 25,70259)}$$

$$I_{hs\ 1\phi\ tanah} = \frac{3}{47,03904 + j\ 36,12133}$$

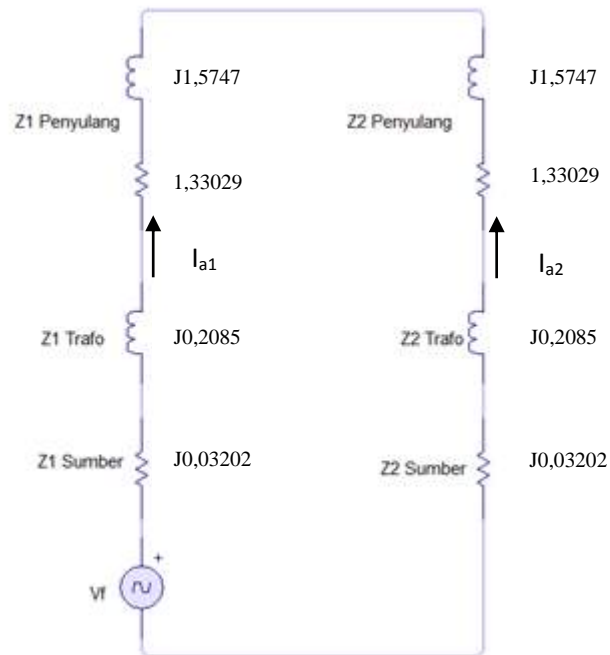
$$I_{hs\ 1\phi\ tanah} = \frac{3}{59,30785 \angle 37,52069^\circ}$$

$$I_{hs\ 1\phi\ tanah} = 0,05058 \angle -37,52069^\circ \text{ pu}$$



5. Penyulang Rama

❖ Gangguan hubung singkat 2 fasa



Gambar 4.14 Diagram Impedansi Gangguan Hubung Singkat Dua Fasa

$$I_{hs\ 2\phi} = -j\sqrt{3} I_{a1}$$

Dimana :

$$I_{a1} = \frac{V_f}{Z_1 + Z_2}$$

$$I_{a1} = \frac{V_f}{2 \times (Z_1)}$$

$$I_{a1} = \frac{1}{2 \times (1,33029 + j\ 1,81522)}$$

$$I_{a1} = \frac{1}{2,66058 + j\ 3,63044}$$



$$I_{a1} = \frac{1}{4,50097} < 53,76405^\circ$$

$$I_{a1} = 0,22217 < -53,76405^\circ pu$$

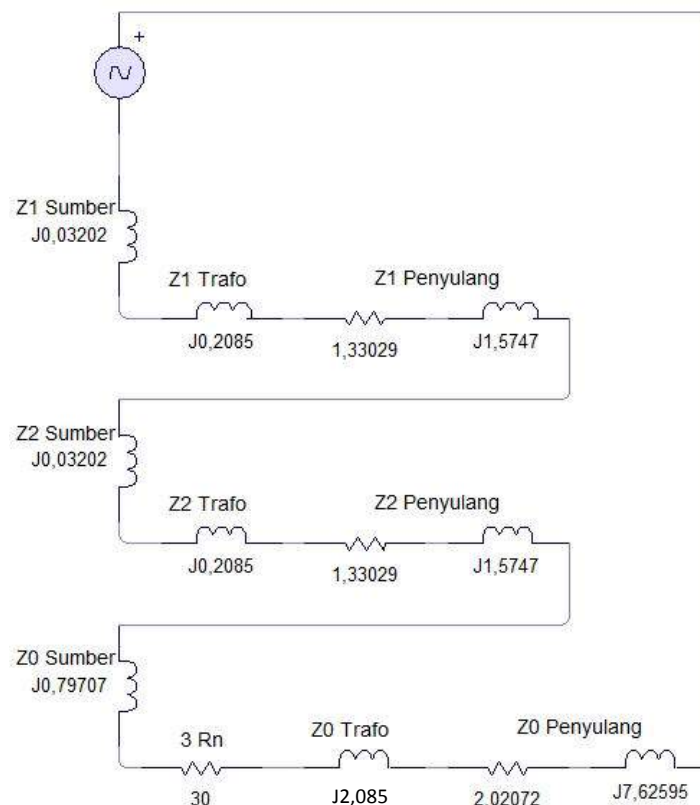
$$I_{hs\ 2\phi} = -j\sqrt{3} I_{a1}$$

$$I_{hs\ 2\phi} = -j\sqrt{3} (0,22217 < -53,76405^\circ)$$

$$I_{hs\ 2\phi} = (\sqrt{3} < -90^\circ) \times (0,22217 < -53,76405^\circ)$$

$$I_{hs\ 2\phi} = 0,38480 < -143,76405^\circ pu$$

❖ Gangguan hubung singkat 1 fasa ke tanah



Gambar 4.15 Diagram Impedansi Gangguan Hubung Singkat Satu Fasa ke Tanah



Bab IV Hasil dan Pembahasan

$$I_{hs\ 1\phi\ tanah} = \frac{3V_f}{Z_1 + Z_2 + Z_0}$$

$$I_{hs\ 1\phi\ tanah} = \frac{3 \times 1}{[2 \times (1,33029 + j\ 1,81522)] + (32,02072 + j\ 9,79072)}$$

$$I_{hs\ 1\phi\ tanah} = \frac{3}{34,6813 + j\ 13,42116}$$

$$I_{hs\ 1\phi\ tanah} = \frac{3}{37,18763 \angle 21,15571^\circ}$$

$$I_{hs\ 1\phi\ tanah} = 0,08067 \angle -21,15571^\circ \text{ pu}$$

Tabel 4.8. Hasil Perhitungan Hubung Singkat

No	Penyulang	Arus Gangguan Hubung Singkat 2 phasa ($I_{hs2\phi}$)		Arus Gangguan Hubung Singkat 1 phasa ke tanah ($I_{hs1\phi\ tanah}$)	
		pu	A	pu	A
1.	Yudistira	0,27556	795,76187	0,07349	212,147356
2.	Sadewa	0,18377	530,4989	0,05543	160,012622
3.	Dewi Kunti	0,26363	761,03425	0,07217	208,33684
4.	Shinta	0,12027	347,18954	0,05058	146,01188
5.	Rama	0,38480	1110,82191	0,08067	232,8743



4.3.6. Setting Rele Pengaman Pada Transformator Daya

1. Rele Diferensial

❖ Perhitungan CT

- Sisi 150 kV

$$I_N = \frac{MVA_{trafo} \times 1000}{\sqrt{3} \times kV}$$

$$I_N = \frac{60 \times 1000}{\sqrt{3} \times 150}$$

$$I_N = 230,94011 \text{ A}$$

$$I_n = I_N \times \frac{1}{RasioCT}$$

$$I_n = 230,94011 \times \frac{5}{300}$$

$$I_n = 3,84901 \text{ A}$$

- Sisi 20 kV

$$I_N = \frac{MVA_{trafo} \times 1000}{\sqrt{3} \times kV}$$

$$I_N = \frac{60 \times 1000}{\sqrt{3} \times 20}$$

$$I_N = 1732,05080 \text{ A}$$

$$I_n = I_N \times \frac{1}{RasioCT}$$

$$I_n = 1732,05080 \times \frac{5}{2000}$$

$$I_n = 4,330127 \text{ A}$$



Keterangan :

I_N = Arus nominal di sisi primer

I_n = Arus nominal di sisi sekunder

❖ Perhitungan ACT (Auxalary Current Transformator)

- Sisi 150 kV

$$N_2 \times \frac{I_s}{\sqrt{3}} = N_1 \times I_p$$

$$N_1 = \frac{N_2 \times I_s}{\sqrt{3} \times I_p}$$

dimana :

$$N_2 = S_3 - S_4 = 18 \text{ lilitan}$$

$$I_s = 5 \text{ A}$$

$$I_{np} = 3,84900 \text{ A}$$

Maka :

$$N_1 = \frac{18 \times 5}{\sqrt{3} \times 3,84900}$$

$$N_1 = 13,5 \approx 14 \text{ lilitan}$$

- Sisi 20 kV

$$N_1 = \frac{N_2 \times I_s}{\sqrt{3} \times I_p}$$

dimana :

$$N_2 = S_3 - S_4 = 18 \text{ lilitan}$$

$$I_s = 5 \text{ A}$$



Bab IV Hasil dan Pembahasan

$$I_{ns} = 4,330127 \text{ A}$$

Maka :

$$N_1 = \frac{18 \times 5}{\sqrt{3} \times 4,330127}$$

$$N_1 = 12 \text{ lilitan}$$

❖ Miss Match

$$\text{Miss Match} = \frac{\frac{T_{ip}}{T_{is}} - \frac{T_p}{T_s}}{S} \times 100 \%$$

$$\text{Miss Match} = \frac{\frac{13,5}{12} - \frac{14}{12}}{\frac{14}{12}} \times 100 \%$$

$$\text{Miss Match} = 3,84 \%$$

$$\text{Miss Match} = 4 \%$$

❖ Sadapan Trafo

$$\text{Tap terendah } (T_L) = 209,9 \text{ A}$$

$$\text{Tap tengah } (T_M) = 230,9 \text{ A}$$

$$\text{Tap tinggi } (T_H) = 256,6 \text{ A}$$

$$\frac{T_M - T_L}{T_M} \times 100 \% = \frac{230,9 - 209,9}{230,9} \times 100 \% = 9,09484 \%$$

$$\frac{T_M - T_H}{T_M} \times 100 \% = \frac{230,9 - 256,6}{230,9} \times 100 \% = 11,13035 \%$$

Jadi diambil nilai sadapannya sebesar 11,13035 %



❖ Perhitungan Persen Kecelakaan

Sadapan trafo	= 11,13035 %
Miss Match	= 4 %
Arus Magnetisasi	= 2 %
Kesalahan CT	= 5 %
Error Rele	= 0,5 %
Faktor Keamanan	= 2,5 %
Total	= 25,3 %

❖ Perhitungan Arus Diferensial (I_d) pada kondisi normal

- Sisi 150 kV

$$I_p = \frac{MVA_{trafo} \times 1000}{\sqrt{3} \times kV}$$

$$I_p = \frac{60 \times 1000}{\sqrt{3} \times 150}$$

$$I_p = 230,94010 \text{ A}$$

$$I_{CT1} = I_p \times \frac{1}{RasioCT}$$

$$I_n = 230,94010 \times \frac{5}{300}$$

$$I_n = 3,84900 \text{ A}$$

$$\text{Tap ACT} = \dots ; \dots ; \dots ; 2,75 ; 3,00 ; 3,25 ; 3,50 ; 3,75 ; 4,00 ; \dots ; \dots ;$$

...



- Sisi 20 kV

$$I_p = \frac{MVA_{trafo} \times 1000}{\sqrt{3} \times kV}$$

$$I_p = \frac{60 \times 1000}{\sqrt{3} \times 20}$$

$$I_p = 1732,05080 \text{ A}$$

$$I_{CT1} = I_p \times \frac{1}{RasioCT}$$

$$I_{CT1} = 1732,05080 \times \frac{5}{2000}$$

$$I_{CT1} = 4,33012 \text{ A}$$

$$\text{Tap ACT} = \dots ; \dots ; \dots ; 3,5 ; 3,75 ; 4,00 ; 4,25 ; 4,5 ; \dots ; \dots ; \dots$$

Arus yang melalui ACT :

$$I_1 = 3,84900 \times \frac{5/\sqrt{3}}{4} \sqrt{3} = 4,81125 \text{ A}$$

$$I_2 = 4,33012 \times \frac{5/\sqrt{3}}{4,3} \sqrt{3} = 5,03502 \text{ A}$$

Maka arus diferensial adalah :

$$I_d = 4,81125 - 5,03502 = -0,22377 \text{ A}$$

Terlihat bahwa arus diferensial yang muncul sangat kecil yaitu sebesar -0,22377 A. Arus tersebut kemungkinan tidak akan berpengaruh terhadap kerja



dari sistem yang akan dilindungi dan arus tersebut dapat dianggap sama dengan nol pada keadaan normal ini, sehingga rele diferensial tidak akan bekerja.

2. Setting Rele Arus Lebih

- Sisi 150 kV

❖ Setting Arus

$$I_{n\ trafo} = \frac{MVA_{trafo} \times 1000}{\sqrt{3} \times kV}$$

$$I_{n\ trafo} = \frac{60 \times 1000}{\sqrt{3} \times 150}$$

$$I_{n\ trafo} = 230,94010 \text{ A}$$

$$I_{set(primer)} = 1,05 \times I_{ntrafo}$$

$$I_{set (primer)} = 1,05 \times 230,94010$$

$$I_{set (primer)} = 242,48710 \text{ A}$$

$$I_{set(sekunder)} = I_{set(primer)} \times \frac{1}{RasioCT}$$

$$I_{set(sekunder)} = 242,48710 \times \frac{5}{300}$$

$$I_{set(sekunder)} = 4,04145 \text{ A}$$

$$I_{set (primer)} = \frac{I_{set (primer)}}{I_{dasar}}$$

$$I_{set (primer)} = \frac{242,48710}{384,90017}$$

$$I_{set (primer)} = 0,62979 \text{ pu}$$



❖ Setting TMS

$$t = \frac{0,14 \times tms}{\left(\frac{I_{hs\ 2\phi}}{I_{set}}\right)^{0,02} - 1}$$

$$tms = \frac{t \times \left[\left(\frac{I_{hs\ 2\phi}}{I_{set}}\right)^{0,02} - 1\right]}{0,14}$$

$$tms = \frac{1,2 \times \left[\left(\frac{3,60062}{0,62979}\right)^{0,02} - 1\right]}{0,14}$$

$$tms = 0,30415$$

• Sisi 20 kV

❖ Setting Arus

$$I_{n\ trafo} = \frac{MVA_{trafo} \times 1000}{\sqrt{3} \times kV}$$

$$I_{n\ trafo} = \frac{60 \times 1000}{\sqrt{3} \times 20}$$

$$I_{n\ trafo} = 1732,05080\ A$$

$$I_{set(primer)} = 1,05 \times I_{ntrafo}$$

$$I_{set(primer)} = 1,05 \times 1732,05080$$

$$I_{set(primer)} = 1818,65334\ A$$

$$I_{set(sekunder)} = I_{set(primer)} \times \frac{1}{RasioCT}$$

$$I_{set(sekunder)} = 1818,65334 \times \frac{5}{2000}$$

$$I_{set(sekunder)} = 4,54663\ A$$



$$I_{set (primer)} = \frac{I_{set (primer)}}{I_{dasar}}$$

$$I_{set (primer)} = \frac{1818,65334}{2886,75135}$$

$$I_{set (primer)} = 0,62999 \text{ pu}$$

❖ Setting TMS

$$t = \frac{0,14 \text{ xtms}}{\left(\frac{I_{hs 2\phi}}{I_{set}}\right)^{0,02} - 1}$$

$$tms = \frac{tx \left[\left(\frac{I_{hs 2\phi}}{I_{set}}\right)^{0,02} - 1 \right]}{0,14}$$

$$tms = \frac{0,7 \times \left[\left(\frac{3,60062}{0,62979}\right)^{0,02} - 1 \right]}{0,14}$$

$$tms = 0,1774$$



3. Setting Rele Gangguan Tanah

- Sisi 150 kV

- ❖ Setting Arus

$$I_{set(primer)} = 50\% \times I_{hs\ 1\phi\ tanah\ terkecil}$$

$$I_{set(primer)} = 0,5 \times 0,09961$$

$$I_{set(primer)} = 0,049805\ pu$$

$$I_{set(primer)} = I_{set(primer)} \times I_{dasar}$$

$$I_{set(primer)} = 0,049805 \times 384,90017$$

$$I_{set(primer)} = 19,16995\ A$$

$$I_{set(sekunder)} = I_{set(primer)} \times \frac{1}{RasioCT}$$

$$I_{set(sekunder)} = 19,16995 \times \frac{5}{300}$$

$$I_{set(sekunder)} = 0,31949\ A$$

- ❖ Setting TMS

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

$$tms = \frac{t \times \left[\left(\frac{I_{hs\ 1\phi\ tanah}}{I_{set}}\right)^{0,02} - 1\right]}{0,14}$$

$$tms = \frac{1,2 \times \left[\left(\frac{0,09961}{0,049805}\right)^{0,02} - 1\right]}{0,14}$$

$$tms = 0,12$$



Bab IV Hasil dan Pembahasan

- Sisi 20 kV
 - ❖ Setting Arus

$$I_{set(primer)} = 50\% \times I_{hs\ 1\phi\ tanah\ terkecil}$$

$$I_{set(primer)} = 0,5 \times 0,09961$$

$$I_{set(primer)} = 0,04980\ pu$$

$$I_{set(primer)} = I_{set(primer)} \times I_{dasar}$$

$$I_{set(primer)} = 0,04980 \times 2886,75135$$

$$I_{set(primer)} = 143,76021\ A$$

$$I_{set(sekunder)} = I_{set(primer)} \times \frac{1}{Rasio\ CT}$$

$$I_{set(sekunder)} = 143,76021 \times \frac{5}{2000}$$

$$I_{set(sekunder)} = 0,35190\ A$$

- ❖ Setting TMS

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

$$tms = \frac{t \times \left[\left(\frac{I_{hs\ 1\phi\ tanah}}{I_{set}}\right)^{0,02} - 1\right]}{0,14}$$

$$tms = \frac{0,7 \times \left[\left(\frac{0,09961}{0,04980}\right)^{0,02} - 1\right]}{0,14}$$

$$tms = 0,07$$



4.3.7. Setting Rele Pengaman Pada Jaringan Distribusi 20 kV

- Setting Rele Arus Lebih

Nilai I_{set} diambil dengan ketentuan lebih besar dari arus beban puncak dan lebih kecil dari kuat arus penghantar.

$$I_{beban} < I_{set} < KHA$$

1. Penyulang Yudistira

- ❖ Setting Arus

$$I_{set(primer)} = 1,05 \times I_{nkonduktor}$$

$$I_{set(primer)} = 1,05 \times 292$$

$$I_{set(primer)} = 306,6 \text{ A}$$

$$I_{set(sekunder)} = I_{set(primer)} \times \frac{1}{RasioCT}$$

$$I_{set(sekunder)} = 306,6 \times \frac{5}{800}$$

$$I_{set(sekunder)} = 1,91625 \text{ A}$$

$$I_{set(primer)} = \frac{I_{set(primera)}}{I_{dasar}}$$

$$I_{set(primer)} = \frac{306,6}{2886,75135}$$

$$I_{set(primer)} = 0,10620 \text{ pu}$$



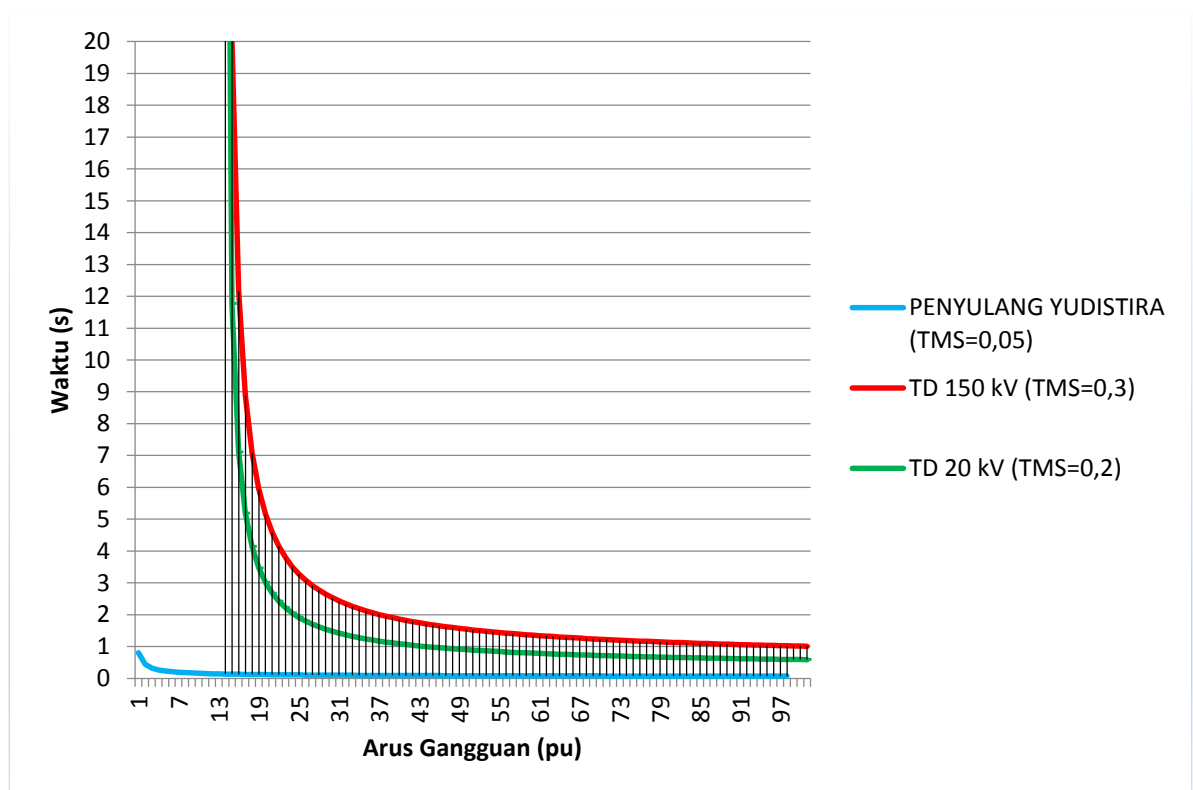
❖ Setting TMS

$$t = \frac{0,14 \times tms}{\left(\frac{I_{hs\ 2\phi}}{I_{set}}\right)^{0,02} - 1}$$

$$tms = \frac{tx \left[\left(\frac{I_{hs\ 2\phi}}{I_{set}}\right)^{0,02} - 1 \right]}{0,14}$$

$$tms = \frac{0,3 \times \left[\left(\frac{0,27556}{0,10620}\right)^{0,02} - 1 \right]}{0,14}$$

$$tms = 0,041255$$



Gambar 4.16 Perbandingan Waktu Kerja Rele Arus Lebih Padaa penyulang Yudistira terhadap TD 150 kV dan TD 20 kV



2. Penyulang Sadewa

❖ Setting Arus

$$I_{set(primer)} = 1,05 \times I_{nkonduktor}$$

$$I_{set(primer)} = 1,05 \times 180,6$$

$$I_{set(primer)} = 189,63 \text{ A}$$

$$I_{set(sekunder)} = I_{set(primer)} \times \frac{1}{RasioCT}$$

$$I_{set(sekunder)} = 189,63 \times \frac{5}{800}$$

$$I_{set(sekunder)} = 1,18518 \text{ A}$$

$$I_{set(primer)} = \frac{I_{set(primier)}}{I_{dasar}}$$

$$I_{set(primer)} = \frac{189,63}{2886,75135}$$

$$I_{set(primer)} = 0,06568 \text{ pu}$$

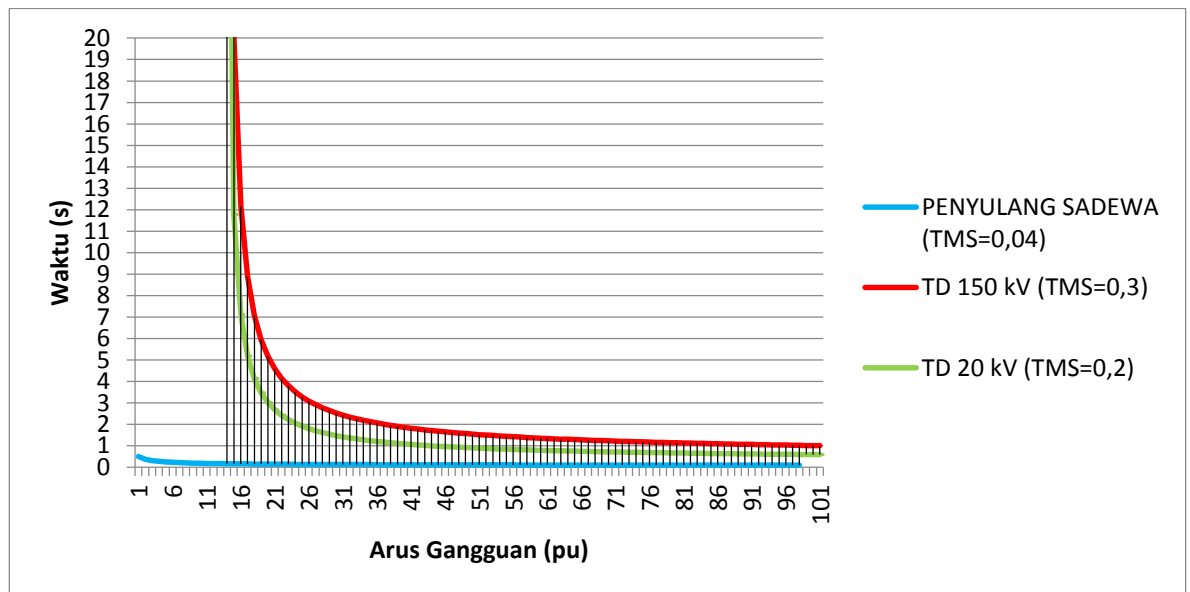
❖ Setting TMS

$$t = \frac{0,14 \times tms}{\left(\frac{I_{hs2\phi}}{I_{set}}\right)^{0,02} - 1}$$

$$tms = \frac{t \times \left[\left(\frac{I_{hs2\phi}}{I_{set}}\right)^{0,02} - 1\right]}{0,14}$$

$$tms = \frac{0,3 \times \left[\left(\frac{0,18377}{0,06568}\right)^{0,02} - 1\right]}{0,14}$$

$$tms = 0,04455$$



Gambar 4.17 Perbandingan Waktu Kerja Rele Arus Lebih Padaa penyulang Sadewa terhadap TD 150 kV dan TD 20 kV

3. Penyulang Dewi Kunti

❖ Setting Arus

$$I_{set(primer)} = 1,05 \times I_{nkonduktor}$$

$$I_{set(primer)} = 1,05 \times 214,2$$

$$I_{set(primer)} = 224,91 \text{ A}$$

$$I_{set(sekunder)} = I_{set(primer)} \times \frac{1}{RasioCT}$$

$$I_{set(sekunder)} = 224,91 \times \frac{5}{800}$$

$$I_{set(sekunder)} = 1,40568 \text{ A}$$

$$I_{set(primer)} = \frac{I_{set(primier)}}{I_{dasar}}$$

$$I_{set(primer)} = \frac{224,91}{2886,75135}$$

$$I_{set(primer)} = 0,07791 \text{ pu}$$



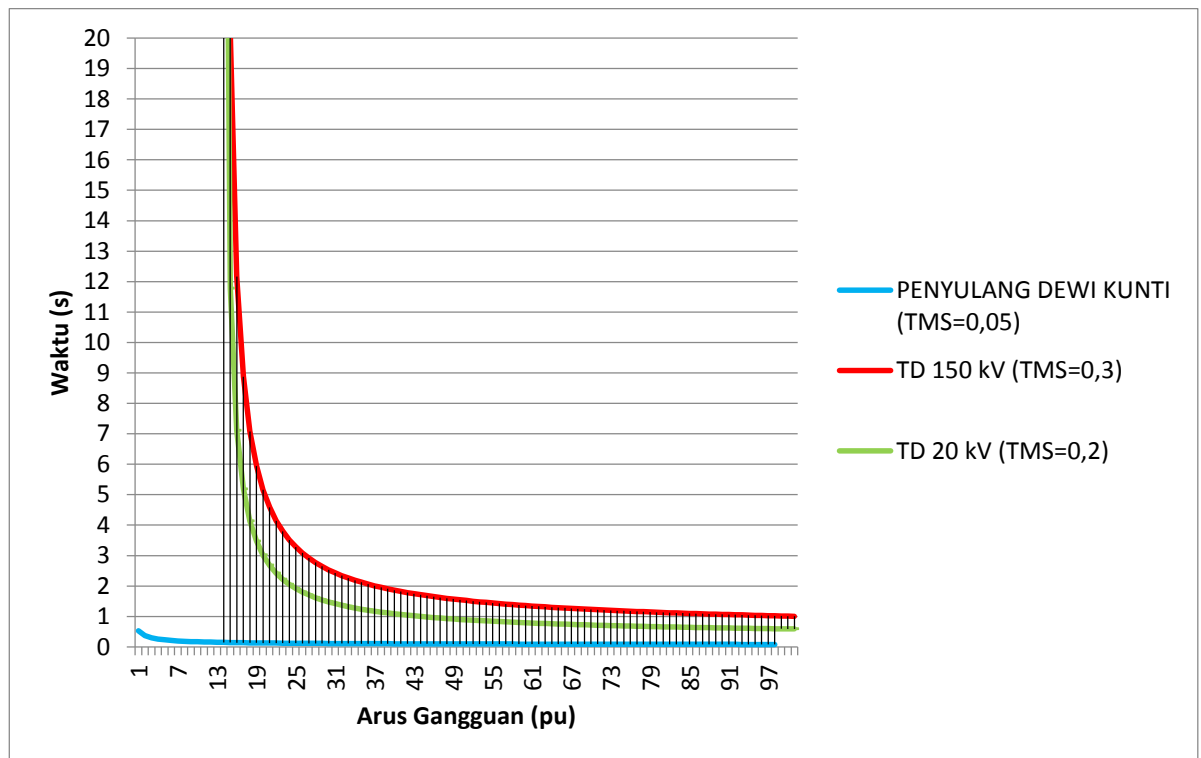
❖ Setting TMS

$$t = \frac{0,14 \times tms}{\left(\frac{I_{hs\ 2\phi}}{I_{set}}\right)^{0,02} - 1}$$

$$tms = \frac{t \times \left[\left(\frac{I_{hs\ 2\phi}}{I_{set}}\right)^{0,02} - 1\right]}{0,14}$$

$$tms = \frac{0,3 \times \left[\left(\frac{0,26363}{0,07791}\right)^{0,02} - 1\right]}{0,14}$$

$$tms = 0,05288$$



Gambar 4.18 Perbandingan Waktu Kerja Rele Arus Lebih Padaa penyulang Dewi Kuntiterhadap TD 150 kV dan TD 20 kV



4. Penyulang Shinta

❖ Setting Arus

$$I_{set(primer)} = 1,05 \times I_{nkonduktor}$$

$$I_{set(primer)} = 1,05 \times 302,4$$

$$I_{set(primer)} = 317,52A$$

$$I_{set(sekunder)} = I_{set(primer)} \times \frac{1}{RasioCT}$$

$$I_{set(sekunder)} = 317,52 \times \frac{5}{800}$$

$$I_{set(sekunder)} = 1,9845 A$$

$$I_{set(primer)} = \frac{I_{set(primer)}}{I_{dasar}}$$

$$I_{set(primer)} = \frac{317,52}{2886,75135}$$

$$I_{set(primer)} = 0,10999 pu$$

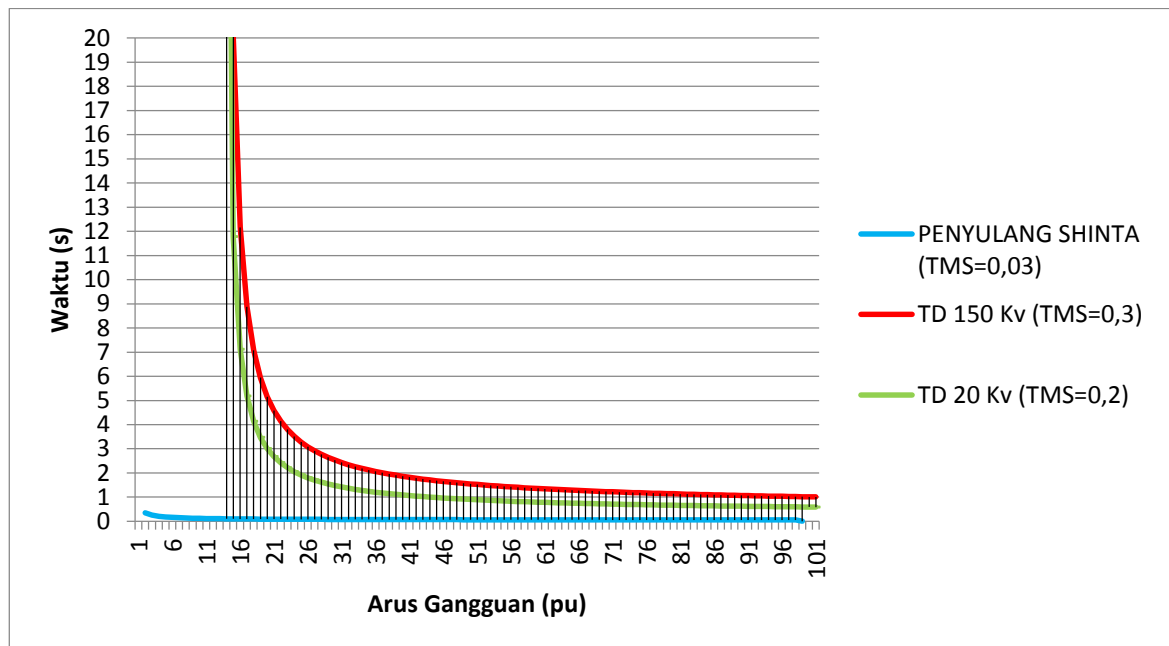
❖ Setting TMS

$$t = \frac{0,14 \times tms}{\left(\frac{I_{hs2\phi}}{I_{set}}\right)^{0,02} - 1}$$

$$tms = \frac{t \times \left[\left(\frac{I_{hs2\phi}}{I_{set}}\right)^{0,02} - 1\right]}{0,14}$$

$$tms = \frac{0,3 \times \left[\left(\frac{0,12027}{0,10999}\right)^{0,02} - 1\right]}{0,14}$$

$$tms = 0,03832$$



Gambar 4.19 Perbandingan Waktu Kerja Rele Arus Lebih Padaa penyulang Shinta terhadap TD 150 kV dan TD 20 kV

5. Penyulang Rama

❖ Setting Arus

$$I_{set(primer)} = 1,05 \times I_{nkonduktor}$$

$$I_{set (primer)} = 1,05 \times 265,65$$

$$I_{set (primer)} = 278,9325A$$

$$I_{set(sekunder)} = I_{set(primer)} \times \frac{1}{RasioCT}$$

$$I_{set(sekunder)} = 278,9325 \times \frac{5}{800}$$

$$I_{set(sekunder)} = 1,74332A$$

$$I_{set (primer)} = \frac{I_{set (primer)}}{I_{dasar}}$$

$$I_{set (primer)} = \frac{278,9325}{2886,75135}$$



$$I_{set} (\text{primer}) = 0,096658 \text{ pu}$$

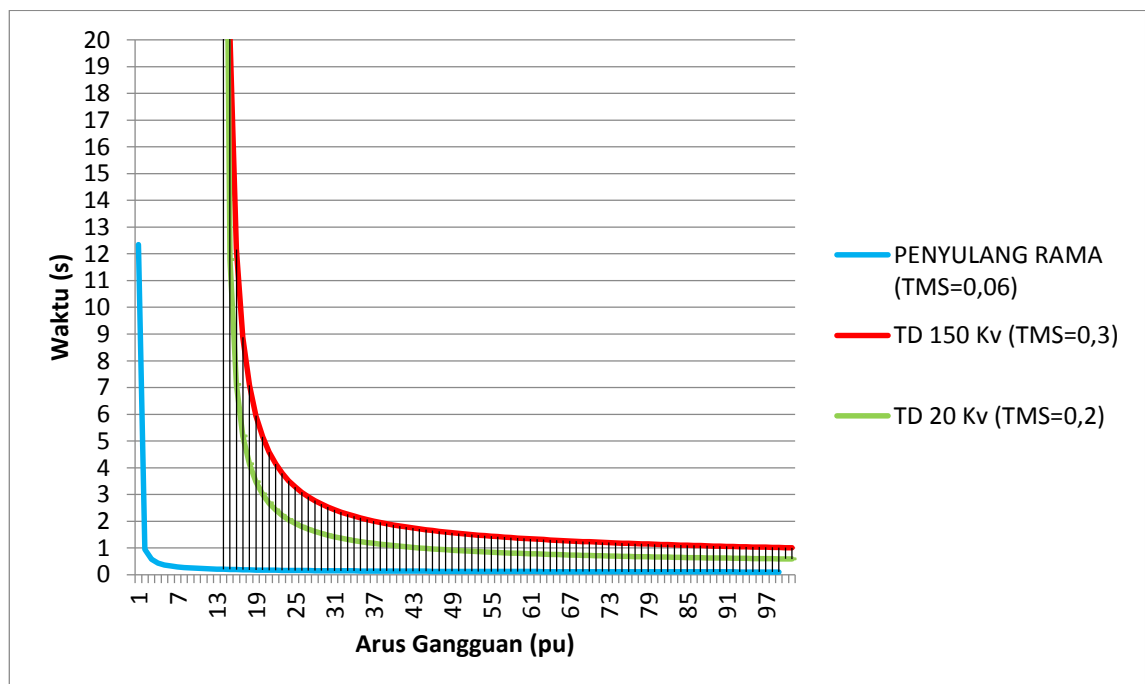
❖ Setting TMS

$$t = \frac{0,14 \text{ xtms}}{\left(\frac{I_{hs\ 2\phi}}{I_{set}}\right)^{0,02} - 1}$$

$$tms = \frac{tx \left[\left(\frac{I_{hs\ 2\phi}}{I_{set}}\right)^{0,02} - 1 \right]}{0,14}$$

$$tms = \frac{0,3 \times \left[\left(\frac{0,38480}{0,096658}\right)^{0,02} - 1 \right]}{0,14}$$

$$tms = 0.06003$$



Gambar 4.20 Perbandingan Waktu Kerja Rele Arus Lebih Padaa penyulang Rama terhadap TD 150 kV dan TD 20 kV

4. Setting Rele Gangguan Tanah



1. Penyulang Yudistira

❖ Setting Arus

$$I_{set(primer)} = 20\% \times I_{hs\ 1\phi\ tanah\ terkecil}$$

$$I_{set(primer)} = 0,2 \times 0,07349$$

$$I_{set(primer)} = 0,01469\ pu$$

$$I_{set(primer)} = I_{set(primer)} \times I_{dasar}$$

$$I_{set(primer)} = 0,01469 \times 2886,75135$$

$$I_{set(primer)} = 42,40637\ A$$

$$I_{set(sekunder)} = I_{set(primer)} \times \frac{1}{RasioCT}$$

$$I_{set(sekunder)} = 42,40637 \times \frac{5}{800}$$

$$I_{set(sekunder)} = 0,26503\ A$$

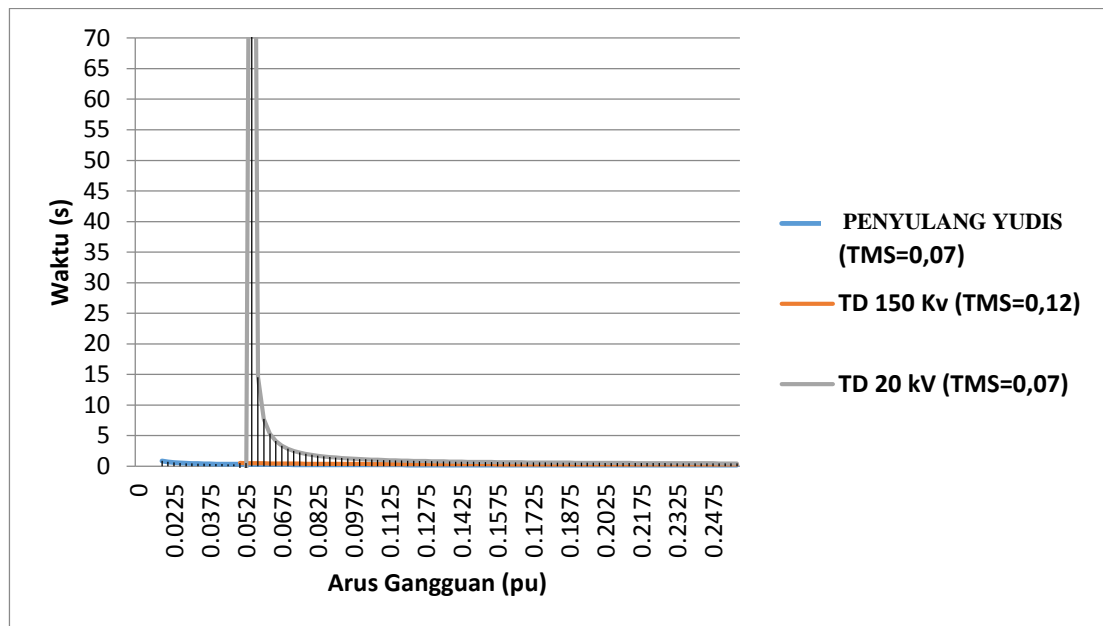
❖ Setting TMS

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

$$tms = \frac{t \times \left[\left(\frac{I_{hs\ 1\phi\ tanah}}{I_{set}}\right)^{0,02} - 1\right]}{0,14}$$

$$tms = \frac{0,3 \times \left[\left(\frac{0,07349}{0,01469}\right)^{0,02} - 1\right]}{0,14}$$

$$tms = 0,07012$$



Gambar 4.21 Perbandingan Waktu Kerja Rele Gangguan Tanah Padaa penyulang Yudistira terhadap TD 150 kV dan TD 20 kV

2. Penyulang Sadewa

❖ Setting Arus

$$I_{set(primer)} = 20\% \times I_{hs\ 1\phi\ tanah\ terkecil}$$

$$I_{set(primer)} = 0,2 \times 0,05534$$

$$I_{set(primer)} = 0,011086\ pu$$

$$I_{set(primer)} = I_{set(primer)} \times I_{dasar}$$

$$I_{set(primer)} = 0,011086 \times 2886,75135$$

$$I_{set(primer)} = 32,00252\ A$$

$$I_{set(sekunder)} = I_{set(primer)} \times \frac{1}{RasioCT}$$



Bab IV Hasil dan Pembahasan

$$I_{set(sekunder)} = 35,7957 \times \frac{5}{800}$$

$$I_{set(sekunder)} = 0,20001A$$

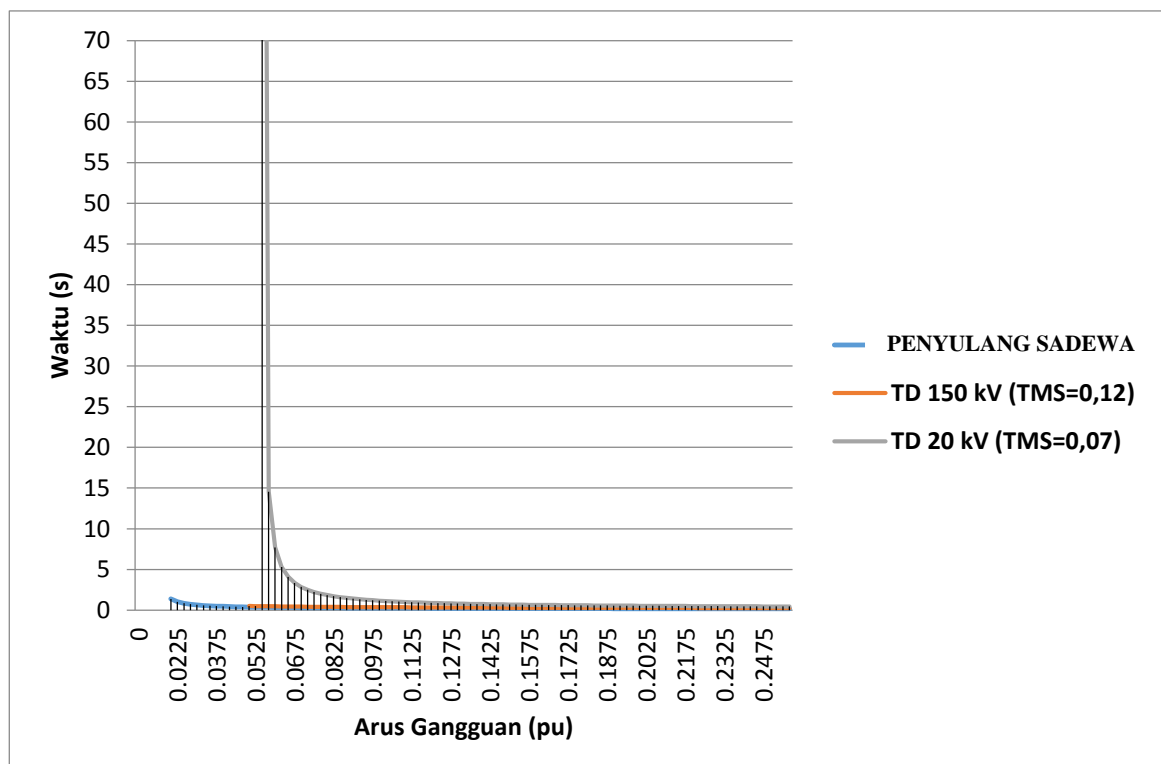
❖ Setting TMS

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

$$tms = \frac{t \times \left[\left(\frac{I_{hs} \ 1\phi_{tanah}}{I_{set}}\right)^{0,02} - 1\right]}{0,14}$$

$$tms = \frac{0,3 \times \left[\left(\frac{0,05543}{0,011086}\right)^{0,02} - 1\right]}{0,14}$$

$$tms = 0,06514$$



Gambar 4.22 Perbandingan Waktu Kerja Rele Gangguan Tanah Padaa penyulang Sadewa terhadap TD 150 kV dan TD 20 kV



3. Penyulang Dewi Kunti

❖ Setting Arus

$$I_{set(primer)} = 20\% \times I_{hs\ 1\phi\ tanah\ terkecil}$$

$$I_{set(primer)} = 0,2 \times 0,07217$$

$$I_{set(primer)} = 0,014434\ pu$$

$$I_{set(primer)} = I_{set(primer)} \times I_{dasar}$$

$$I_{set(primer)} = 0,014434 \times 2886,75135$$

$$I_{set(primer)} = 41,66736\ A$$

$$I_{set(sekunder)} = I_{set(primer)} \times \frac{1}{RasioCT}$$

$$I_{set(sekunder)} = 41,66736 \times \frac{5}{800}$$

$$I_{set(sekunder)} = 0,260421\ A$$

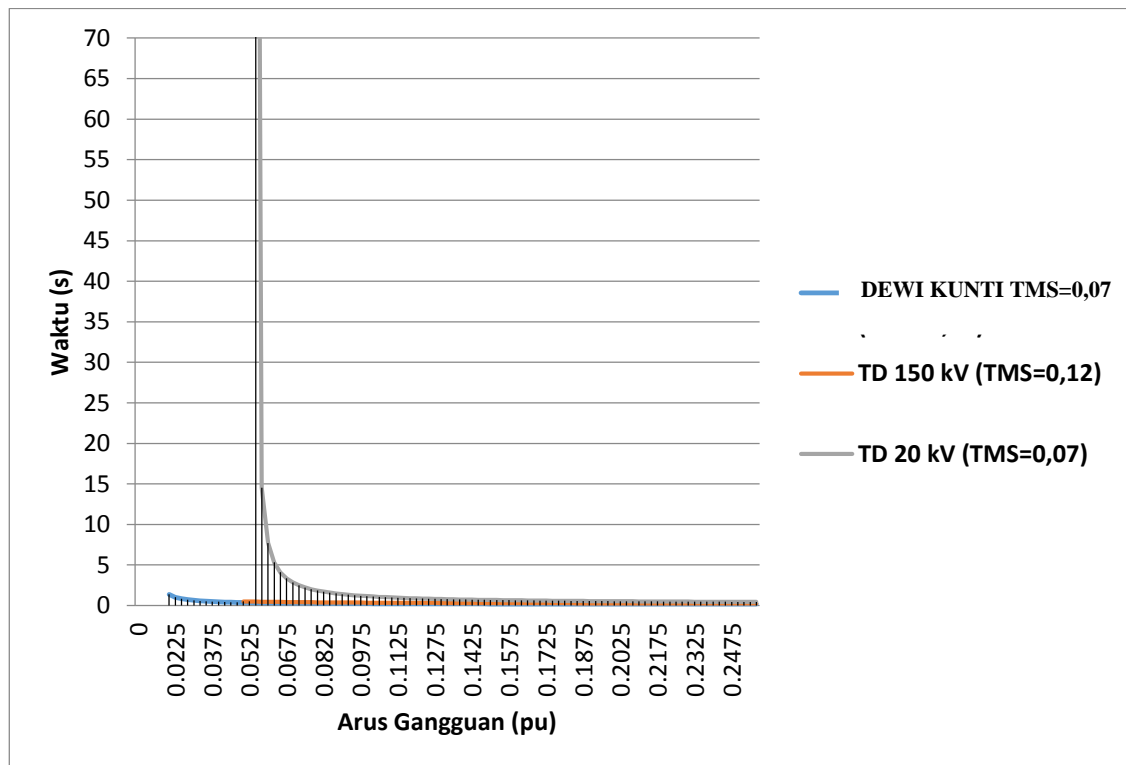
❖ Setting TMS

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

$$tms = \frac{t \times \left[\left(\frac{I_{hs\ 1\phi\ tanah}}{I_{set}}\right)^{0,02} - 1\right]}{0,14}$$

$$tms = \frac{0,3 \times \left[\left(\frac{0,07217}{0,014434}\right)^{0,02} - 1\right]}{0,14}$$

$$tms = 0,07009$$



Gambar 4.23 Perbandingan Waktu Kerja Rele Gangguan Tanah Padaa penyulang Sadewa terhadap TD 150 kV dan TD 20 kV

4. Penyulang Shinta

❖ Setting Arus

$$I_{set(primer)} = 20\% \times I_{hs\ 1\phi\ tanah\ terkecil}$$

$$I_{set(primer)} = 0,2 \times 0,05058$$

$$I_{set(primer)} = 0,01011\ pu$$

$$I_{set(primer)} = I_{set(primer)} \times I_{dasar}$$

$$I_{set(primer)} = 0,01011 \times 2886,75135$$

$$I_{set(primer)} = 29,18505\ A$$

$$I_{set(sekunder)} = I_{set(primer)} \times \frac{1}{RasioCT}$$



Bab IV Hasil dan Pembahasan

$$I_{set(sekunder)} = 29,18505 \times \frac{5}{800}$$

$$I_{set(sekunder)} = 0,18240 \text{ A}$$

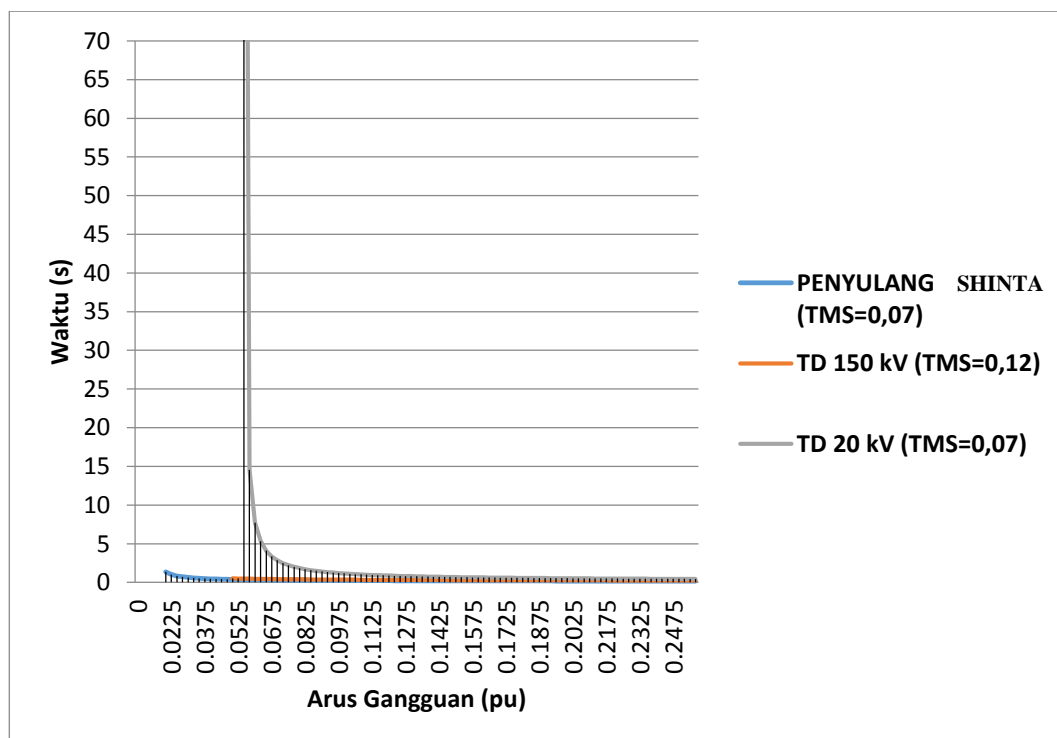
❖ Setting TMS

$$t = \frac{0,14 \text{ xtms}}{\left(\frac{I_{hs10tanah}}{I_{set}}\right)^{0,02} - 1}$$

$$tms = \frac{tx \left[\left(\frac{I_{hs10tanah}}{I_{set}}\right)^{0,02} - 1 \right]}{0,14}$$

$$tms = \frac{0,3 \times \left[\left(\frac{0,05058}{0,01011}\right)^{0,02} - 1 \right]}{0,14}$$

$$tms = 0,07011$$



Gambar 4.24 Perbandingan Waktu Kerja Rele Gangguan Tanah Padaa penyulang Shinta terhadap TD 150 kV dan TD 20 kV



5. Penyulang Rama

❖ Setting Arus

$$I_{set(primer)} = 20\% \times I_{hs\ 1\phi\ tanah\ terkecil}$$

$$I_{set(primer)} = 0,2 \times 0,08067$$

$$I_{set(primer)} = 0,01613\ pu$$

$$I_{set(primer)} = I_{set(primer)} \times I_{dasar}$$

$$I_{set(primer)} = 0,01613 \times 2886,75135$$

$$I_{set(primer)} = 46,56329\ A$$

$$I_{set(sekunder)} = I_{set(primer)} \times \frac{1}{Rasio\ CT}$$

$$I_{set(sekunder)} = 46,56329 \times \frac{5}{800}$$

$$I_{set(sekunder)} = 0,29102\ A$$

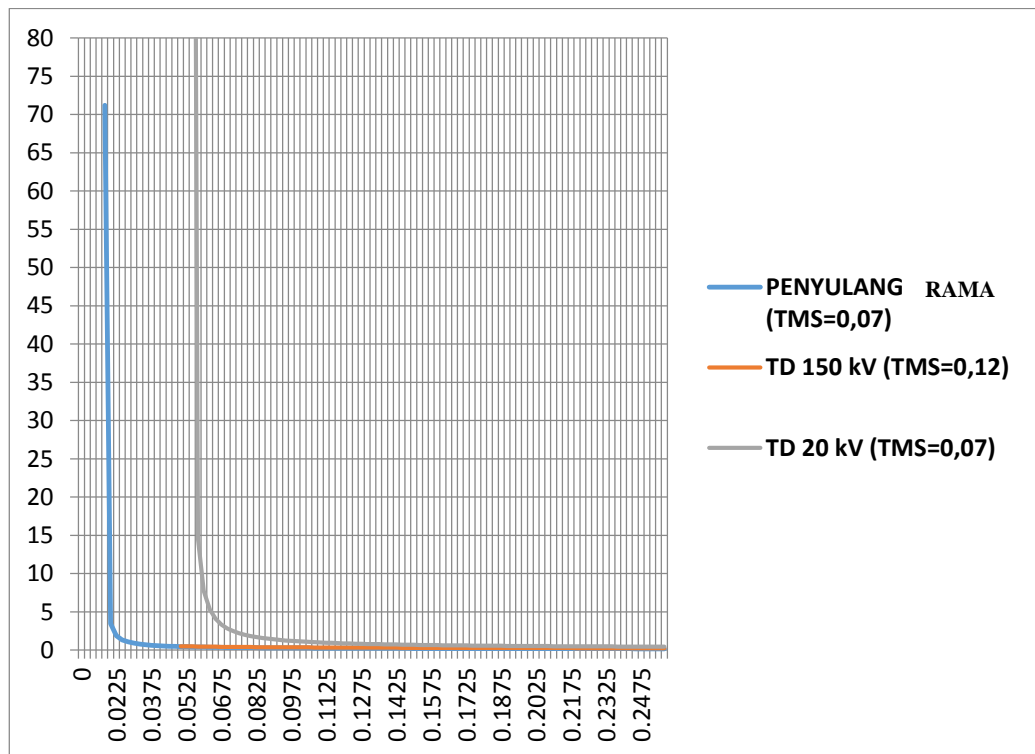
❖ Setting TMS

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

$$tms = \frac{t \times \left[\left(\frac{I_{hs\ 1\phi\ tanah}}{I_{set}}\right)^{0,02} - 1\right]}{0,14}$$

$$tms = \frac{0,3 \times \left[\left(\frac{0,08067}{0,01613}\right)^{0,02} - 1\right]}{0,14}$$

$$tms = 0,07010$$



Gambar 4.24 Perbandingan Waktu Kerja Rele Gangguan Tanah Padaa penyulang Rama terhadap TD 150 kV dan TD 20 kV



4.4. Hasil Perhitungan

Berikut hasil perhitungan besarnya arus gangguan hubung singkat, setting arus, dan time multiplier setting (TMS) yaitu :

Tabel 4.9 Arus Gangguan Hubung Singkat Transformator Dan Penyulang

No	Uraian	Arus Gangguan Hubung Singkat 2 phasa ($I_{hs2\phi}$)		Arus Gangguan Hubung Singkat 1 phasa ke tanah ($I_{hs1\phi tanah}$)	
		pu	A	pu	A
1.	Transformator	3,60062	1385,87925	0,09961	38,33991

No	Penyulang	Arus Gangguan Hubung Singkat 2 phasa ($I_{hs2\phi}$)		Arus Gangguan Hubung Singkat 1 phasa ke tanah ($I_{hs1\phi tanah}$)	
		pu	A	pu	A
1	Yudistira	0,27556	795,76187	0,07349	212147356
2	Sadewa	0,18377	530,4989	0,05543	160,012622
3	Dewi Kunti	0,26363	761,03425	0,07217	208,33684
4.	Shinta	0,12027	347,18958	0,05058	146,01188
5.	Rama	0,38480	1110,82191	0,08067	232,8743



Tabel 4.10 Setting Rele Diferensial

No	Uraian	Setting Arus	
		Perhitungan	Terpasang
1	Transformator Daya	$30 \% \times 4 = 1,2 \text{ A}$	$30 \% \times 4 = 1,2 \text{ A}$

Tabel 4.11 Setting Rele Arus Lebih pada Transformator Daya

No	Uraian	TMS		I_{set}	
		Perhitungan	Terpasang	Perhitungan	Terpasang
1.	TD sisi 150kV	0,3	0,54	242,407105A	300 A
2.	TD sisi 20 Kv	0,2	0,24	188,65334 A	2000 A

Tabel 4.12 Setting Rele Gangguan Tanah pada Transformator Daya

No	Uraian	TMS		I_{set}	
		Perhitungan	Terpasang	Perhitungan	Terpasang
1.	TD sisi 150 kV	0,12	0,73	19,16995 A	75 A
2.	TD sisi 20 kV	0,07	0,23	143,76025 A	160 A



Tabel 4.13 Setting Rele Arus Lebih pada Penyulang

No	Penyulang	TMS		I_{set}	
		Perhitungan	Terpasang	Perhitungan	Terpasang
1.	Yudistira	0,04	0,17 A	306,6	360 A
2.	Sadewa	0,04	0,17 A	189,63	360 A
3.	Dewi Kunti	0,05	0,17 A	224,91	360 A
4.	Shinta	0,03	0,17 A	317,52	360 A
5.	Rama	0,06	0,17 A	278,93	360 A

Tabel 4.14 Setting Rele Gangguan Tanah pada Penyulang

No	Penyulang	TMS		I_{set}	
		Perhitungan	Terpasang	Perhitungan	Terpasang
1.	Yudistira	0,07010	0,12 A	42,34864	27,8 A
2.	Sadewa	0,50080	0,12 A	35,79571	28 A
3.	Dewi Kunti	0,07011	0,12 A	41,71355	28 A
4.	Shinta	0,07011	0,12 A	29,18505	27,8 A
5.	Rama	0,07010	0,12 A	46,56329	27,8 A



4.5. Analisa dan Pembahasan

Pada perhitungan yang telah dilakukan didapatkan hasil perhitungan arus gangguan hubung singkat 2 fasa ke tanah digunakan dalam perhitungan setting rele arus lebih dan hubung singkat 1 fasa ke tanah digunakan dalam perhitungan setting rele gangguan tanah, yaitu terlihat pada tabel 4.9. Pada tabel 4.9 terlihat bahwa nilai arus gangguan pada gangguan 2 fasa lebih besar daripada arus gangguan 1 fasa ke tanah.

perhitungan untuk pengaman pada transformator daya dan pada masing – masing penyulang. Pada transformator daya pengaman yang dipasang pengaman untuk gangguan internal berupa rele diferensial, sedangkan untuk gangguan eksternal dipasang pengaman berupa Rele Arus Lebih (OCR) dan Rele Gangguan Tanah (GFR).

Untuk setting rele arus lebih terdapat perbedaan antara yang terpasang dengan perhitungan. ini Penyetelan arus kerja ini harus lebih besar dari kemampuan arus nominal dengan kisaran 105% - 120% dari nominal. penulis menggunakan kisaran minimum yaitu 105% dari arus nominalnya. Untuk penyetelan Tms (Time Multiple Setting) juga terdapat perbedaan dengan penyetelan yang biasa diterapkan di GI. Pada penyetelan Tms menggunakan gangguan terbesar (maksimal), sedangkan penulis dalam penyetelan Tms menggunakan gangguan terkecil (minimum) atau terjauh untuk mengantisipasi agar rele tetap bekerja pada kondisi gangguan terjauh sekalipun. Gangguan yang digunakan adalah gangguan hubung singkat 2 fasa untuk mengantisipasi agar rele bekerja pada gangguan 2 fasa yang umumnya lebih kecil bila dibandingkan dengan gangguan hubung singkat 3 fasa. Penyetelan ini mengacu pada dasar penyetelan rele Arus lebih:

Untuk rele gangguan tanah, penyetelan arus kerjanya terdapat perbedaan dengan penyetelan yang biasa diterapkan di GI. Pada umumnya, arus kerjanya diset 10% dari arus nominal trafo arus, sedangkan penulis menggunakan angka



20% dan 50% dari gangguan hubung singkat satu fasa ke tanah jaringan distribusi 20kV terkecil dengan alasan mempertimbangkan ketidakseimbangan beban. Penyetelan ini mengacu pada dasar penyetelan rele arus gangguan tanah dengan memperhatikan ketidakseimbangan beban:

Perbedaan nilai TMS yang disetel dengan hasil perhitungan dikarenakan hasil TMS yang umumnya sangat kecil sehingga harus disesuaikan dengan ketersediaan nilai setting di lapangan (nilai set dilapangan pada umumnya : 0.025, 0.05, 0.075, 0.01 dst...) dan mempertimbangkan koordinasi dengan rele yang lainnya, yang berhubungan dengan posisi pemasangan rele, dimana rele yang paling ujung disetel dengan TMS yg lebih kecil atau dengan waktu setel yang lebih cepat dibandingkan dengan rele yang ada di depannya atau mendekatipangkal penyulang ke arah trafo daya pada GI, sehingga rele dapat bekerja dengan koordinasi yang diinginkan dan tidak ada rele yang bekerja secara bersamaan.