

Analisa Sistem Koordinasi Kerja Relay Dengan Recloser Pada Penyulang berbasis Simulasi ETAP

A Sofwan, M Fathur Rochman

Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik,
Institut Sains dan Teknologi Nasional Jakarta 12640

Email: asofwan@istn.ac.id

Abstrak

Untuk mengurangi dampak gangguan diperlukan sistem proteksi. Gangguan yang terjadi berupa gangguan hubung singkat antar fasa, tiga fasa, dua fasa, dan satu fasa ke tanah. Sistem proteksi berkoordinasi dengan PMT, Recloser serta SSO untuk meminimalisir daerah padam. Recloser dapat mendeteksi arus gangguan sesaat atau tetap, dan memerintahkan PMT untuk membuka dan menutup kembali. Pada riset ini akan membahas Penyulang Srikandi di ULP Cibitung. Adapun hasil setting time yang diperoleh untuk penyulang srikandi pada arus hubung singkat 3 fasa PMT penyulang srikandi = 0,37 dan recloser penyulang srikandi = 0,173. Pada arus hubung singkat 1 fasa PMT penyulang srikandi = 0,43 dan recloser penyulang srikandi = 0,19. terdapat dua kemungkinan posisi gangguan : Jika gangguan sesudah SSO, maka recloser yang bekerja terlebih dahulu. Karena SSO hanya akan bekerja apabila hilangnya tegangan dan merasakan gangguan. Saat recloser open, maka SSO merasakan adanya tegangan yang hilang, kemudian SSO akan open. Saat SSO open, maka recloser akan menutup kembali. Karena gangguan telah dilepas oleh SSO. Sehingga saat recloser menutup kembali, recloser tidak mendeteksi adanya arus gangguan. Dengan begitu, jaringan PMT masih dapat teraliri listrik. Jika gangguan sesudah recloser, maka yang akan bekerja adalah recloser dan SSO tidak bekerja. Dengan demikian, perbandingan perhitungan manual dan simulasi yang didapat dengan rata-rata gangguan 3 fasa nilainya 5,23, gangguan 2 fasa nilainya 4,59, gangguan 1 fasa nilainya 2,31.

Kata kunci: Arus hubung singkat, Koordinasi, PMT, Recloser, SSO

Abstract

In To reduce the impact of disturbances, a protection system is required. Disturbances that occur in the form of short circuit inter phase, three phase, two phase, and one phase to the ground. The protection system coordinates with PMT, Recloser and SSO to minimize the blackout area. Reclosers can detect momentary or fixed fault currents, and instruct the PMT to open and close again. This research will discuss the Srikandi Repository at ULP Cibitung. The results of the setting time obtained for the Srikandi repeater on the 3-phase short circuit current of the PMT of the Srikandi repeater = 0.37 and the recloser of the Srikandi repeater = 0.173. At a short circuit current of 1 phase, the PMT of the srikandi feeder = 0.43 and the recloser of the srikandi feeder = 0.19. there are two possible fault positions: If the disturbance is after SSO, then the recloser works first. Because SSO will only work when the loss of voltage and feel the disturbance. When the recloser is open, the SSO senses a loss of voltage, then the SSO will open. When SSO opens, the recloser will close again. Because the disturbance has been removed by SSO. So that when the recloser closes again, the recloser does not detect any fault current. That way, the PMT network can still be electrified. If the fault is after the recloser, then what will work is the recloser and SSO does not work. Thus, the comparison of manual calculations and simulations obtained with an average of 3-phase interference is 5.23, 2-phase interference is 4.59, 1-phase interference is 4.59, and 2-phase interference is 4.59. 1 phase fault is 2.31.

Keywords: Short circuit current, Coordination, PMT, Recloser, SSO.

1. PENDAHULUAN

Sistem distribusi merupakan bagian dari sistem tenaga listrik. Berawal berasal sisi pembangkit hingga ke pelanggan buat menyalurkan energi listrik. Saluran Udara Tegangan Menengah merupakan saluran yang tidak dapat terhindar dari gangguan. dimana gangguan yang sering terjadi pada SUTM adalah gangguan hubung singkat diantaranya antar fasa atau satu fasa ke tanah. Pada jaringan distribusi sistem proteksi tenaga listrik sangat diperlukan untuk meningkatkan kontinuitas dan meminimalisir daerah padam. Terdapat bermacam-macam peralatan

proteksi pada JTM yang terpasang di Penyulang Srikandi, diantaranya Pemutus Tenaga (PMT), Recloser serta Saklar Seksi Otomatis (SSO). Dalam mencegah terjadinya kesalahan peralatan proteksi, maka alat proteksi harus dikoordinasikan dengan alat proteksi yang lain agar bekerja sesuai dengan yang diinginkan. Peralatan proteksi yang diteliti pada penelitian ini dibatasi pada Pemutus Tenaga (PMT), Recloser, serta SSO. Untuk mengurangi waktu gangguan dan memperkecil daerah gangguan pada Penyulang Srikandi, maka sangat dibutuhkan sistem proteksi untuk pengamanan jaringan distribusi di

Wilayah Cibitung khususnya pada Penyulang Srikandi. Tujuan dari pembahasannya ini adalah untuk menganalisa gangguan yang terjadi pada Penyulang Srikandi. Oleh karena itu, penulis menetapkan judul penelitian yaitu "Analisa Koordinasi Kerja Relay Dengan Recloser Pada Penyulang Srikandi". Yang bertempat di wilayah ULP Cibitung.

2. Metodologi Penelitian

Teknik analisis yang dilakukan pada penelitian ini menggunakan metode kuantitatif deskripsi berdasarkan data yang diperoleh dari lapangan.

2.1 Perhitungan Arus Gangguan Hubung Singkat

Untuk langkah awal adalah dengan mencari nilai reaktansi transformator dalam ohm dapat dihitung dengan rumus berikut :

$$Z_t = \frac{kV^2}{MVA} \quad (1)$$

Dimana :

Z_t (Z_{dasar}) = Impedansi trafo tenaga (ohm),

kV = Tegangan sisi 20 kV (kV),

MVA = Kapasitas daya trafo tenaga (MVA)

Selanjutnya, dilakukan perhitungan nilai arus nominal yang mengalir pada jaringan dapat menggunakan rumus berikut :

$$I_{\text{dasar}} = \frac{S}{\sqrt{3}V} \quad (2)$$

Dimana :

I_{dasar} = Arus nominal (A),

S = Daya semu (MVA),

V = Tegangan transformator (kV)

Setelah itu, dihitung impedansi sumber dapat menggunakan rumus sebagai berikut :

$$Z_{(20kV)} = j \frac{kV^2}{MV_{Ahs}}, \quad (3)$$

Dimana :

$Z_{(20kV)}$ = Impedansi sumber (Ohm),

kV = Tegangan sisi 20 kV,

MVA_{hs} = Daya hubung singkat di bus 20 kV (MVA)

Impedansi sumber per unit menggunakan rumus berikut :

$$Z_{\text{sumber per unit}} (Z_{pu}) = j \frac{Z_{\text{sumber}}}{Z_{\text{dasar}}} \quad (4)$$

Untuk melengkapinya maka dihitung pula besar nilai impedansi pada suatu penyulang yang berbasis bilangan Z yaitu : $Z = (R + jX)$, Sehingga rumus yang digunakan adalah :

1. Urutan positif (Z_1) dan urutan negatif (Z_2), ($Z_1 = Z_2 =$ panjang penyulang (km) x Z_1)

2. Urutan nol (Z_0), ($Z_0 =$ panjang penyulang (km) x Z_0).

Adapun perhitungan nilai Impedansi Ekuivalen Jaringan disertakan pula kondisi tersebut, yaitu Urutan positif dan negatif ($Z_{1eq} = Z_{2eq}$), ($Z_{eq} = Z_{2eq} = Z_s + Z_t + Z_1$ penyulang) dan nilai Urutan nol (Z_{0eq}), ($Z_{0eq} = Z_s + Z_t + Z_0$ penyulang)

Akhirnya perhitungan besarnya nilai gangguan hubung singkat dapat dihitung dengan menggunakan rumus dasar berikut:

$$I = \frac{V}{Z} \quad (5)$$

Dimana :

I = Arus yang mengalir pada impedansi Z (A),

V = Tegangan sumber (V), dan nilai besarnya

Z = Impedansi jaringan (Ohm)

Dalam Perhitungan Arus Gangguan Hubung Singkat Tiga Fasa, Arus Gangguan Hubung Singkat dua Fasa dan Perhitungan Arus Gangguan Hubung Singkat Satu Fasa ke Tanah.

Rumus arus gangguan hubung singkat tiga fasa adalah sebagai berikut :

$$I_{3\text{fasa}} = \frac{V_{ph}}{Z_{1eq}} \quad (6)$$

dimana :

$I_{3\text{fasa}}$ = Arus gangguan hubung singkat tiga fasa (A),

V_{ph} = Tegangan fasa-netral sistem 20 kV = $\frac{2000}{\sqrt{3}}$ V (V),

Z_{1eq} = Impedansi ekuivalen urutan positif (Ohm)

Rumus arus gangguan hubung singkat dua fasa adalah sebagai berikut [1] :

$$I_{2\text{fasa}} = \frac{V_{ph-ph}}{Z_{1eq} + Z_{2eq}} \quad (7)$$

Dikarenakan $Z_{1eq} = Z_{2eq}$, maka : $I_{2\text{fasa}} = \frac{V_{ph-ph}}{2 \times Z_{2eq}}$,

dimana :

$I_{2\text{fasa}}$ = Arus gangguan hubung singkat dua fasa (A),

V_{ph-ph} = Tegangan fasa-fasa sistem 20 kV = 2000 V (V),

Z_{1eq} = Impedansi urutan positif (Ohm)

Adapun arus gangguan hubung singkat satu fasa ke tanah dihitung sebagai berikut :

$$I_{1\text{fasa}} = \frac{3xV_{ph}}{Z_{1eq} + Z_{2eq} + Z_{0eq}} \quad (8)$$

Dikarenakan $Z_{1eq} = Z_{2eq}$, maka :

$$I_{1\text{fasa}} = \frac{3xV_{ph}}{2xZ_{1eq} + Z_{0eq}} \quad (9)$$

dimana :

$I_{1\text{fasa}}$ = Arus gangguan hs satu fasa-tanah (A),

V_{ph} = Tegangan fasa-netral sistem 20 Kv =
 $\frac{2000}{\sqrt{3}}$ V (V),

Z_{1eq} = Impedansi urutan positif (Ohm),

Z_{0eq} = Impedansi urutan nol (Ohm)

2.2 Setting Over Current Relay (OCR)

Arus *setting* untuk relai arus lebih baik pada sisi primer atau sisi sekunder transformator tenaga maka digunakan rumus sebagai berikut :

$$I_{set} (\text{primer}) = 1,05 \text{ s/d } 1,3 \times I_{\text{beban}} \quad (10)$$

Arus *setting* sekunder yang terpasang pada sisi primer maupun sisi sekunder trafo tenaga digunakan rumus sebagai berikut :

$$I_{set} (\text{sekunder}) = I_{set} (\text{primer}) \times \frac{1}{\text{Ratio CT}} \quad (11)$$

Penentuan nilai *setting* waktu dapat menggunakan rumus sebagai berikut :

$$\text{TMS} = \frac{\left[\left(\frac{I_{\text{fault}}}{I_{\text{set}}} \right)^{0,02} - 1 \right] \times t}{0,14} \quad \text{dan}$$

$$t = \frac{0,14 \times \text{TMS}}{\left(\frac{I_{\text{F}}}{I_{\text{SET}}} \right)^{0,02} - 1} \quad (12)$$

dimana :

t = tripping time,

K = 0,14,

I_{f} = Arus gangguan,

I_{s} = Arus *setting*,

α = 0,02,

TMS = Time Multiplier Setting

2.3 Deviasi Perhitungan Dengan Simulasi

Menentukan nilai deviasi dapat menggunakan rumus sebagai berikut :

$$\Delta\% = \frac{(\text{nilai simulasi} - \text{nilai hitungan})}{\text{nilai simulasi}} \times 100\%$$

Dimana :

$\Delta\%$ = Nilai deviasi rata-rata (%)

3. HASIL PEMBAHASAN

3.1. Perhitungan Hubung Singkat

a). Arus nominal sisi 20 kV : $V_{\text{per unit}} (\text{pu}) = 1$
pu, $Z_{\text{dasar}} = 6,67 \Omega$, $I_{\text{dasar}} = 1732,05 \text{ A}$

b) Perhitungan impedansi sumber pada sisi 20 kV sebagai berikut : $Z_{\text{sumber}} = j 0,0598 \Omega$, $Z_{\text{sumber per unit}} (Z_{\text{pu}}) = j 0,0089 \text{ pu}$

c). Perhitungan Impedansi Saluran Urutan Positif, Negatif dan Nol

Adapun data perhitungan yaitu: Jenis penghantar : AAAC 150 mm², berdasarkan SPLN (1985:64) penghantar tersebut memiliki impedansi:

Urutan positif: $0,2162 + j 0,3305 \Omega/\text{km}$,

Urutan Negatif: $0,2162 + j 0,3305 \Omega/\text{km}$,

Urutan nol : $0,3631 + j 1,618 \Omega/\text{km}$

Impedansi saluran pada 1 km, $Z_1 = Z_2 = 0,2162 + j 0,3305 \Omega$, dan $Z_0 = 0,3631 + j 1,618 \Omega$

Adapun Panjang saluran yang digunakan pada penelitian ini sepanjang 13 km, maka nilai Impedansinya dapat dihitung dengan mengalikan angka 13 dengan Impedansi saluran pada 1 km di atas. Diperoleh hasil sebagai berikut:

$Z_1 = Z_2 = 2,8106 + j 4,2965 \Omega$,

$Z_0 = 4,7203 + j 21,034 \Omega$

Perhitungan Impedansi Ekuivalen Total Urutan Positif, Negatif dan Nol

3.2. Ztotal pada 1 km

Z_1 saluran positif = Z_2 saluran negatif =
 $\frac{0,2162 + j 0,3305 \Omega}{6,67 \Omega} = 0,0324 + j 0,0496 \text{ pu}$.

$Z_{1eq} = Z_{2eq} = Z_{\text{sumber}} + Z_{\text{trafo}} + Z_{\text{saluran}} =$
 $0,0324 + j 0,1836 \text{ pu}$

$Z_0 \text{ nol} = \frac{0,3631 + j 1,618 \Omega}{6,67 \Omega} =$
 $0,0545 + j 0,2427 \text{ pu}$.

$Z_{0eq} = Z_{\text{sumber}} + Z_{\text{trafo}} + Z_{\text{saluran}} =$
 $0,0545 + j 0,3767 \text{ pu}$

Untuk Z_{total} pada 13 km, diperoleh hasil sebagai berikut:

$Z_1 = Z_2 = \frac{2,8106 + j 4,2965 \Omega}{6,67 \Omega} = 0,4216 + j$
 $0,6445 \text{ pu}$

$Z_{1eq} = Z_{2eq} = Z_{\text{sumber}} + Z_{\text{trafo}} + Z_{\text{saluran}} = 0,4216 +$
 $j 0,7785 \text{ pu}$

$$Z_0 = \frac{4,7203 + j 21,034 \Omega}{6,67 \Omega} = 0,708 + j 3,1551 \text{ pu}$$

$$Z_{0eq} = Z_{sumber} + Z_{trafo} + Z_{saluran} = 0,708 + j 3,2891 \text{ pu}$$

Untuk Perhitungan Arus Hubung Singkat sepanjang saluran 13 km, maka diperlukan perhitungan arus hubung singkat pada 1 km terlebih dahulu, yang dihitung

a. Perhitungan arus hubung singkat 3 fasa pada 1 km

$$I_{3\text{fasa}} = \frac{1 + j 0}{0,3241 + j 0,1834 \text{ pu}} = 5,3648 \angle -88,21^\circ \text{ Ampere}$$

$$= I_{3\text{fasa}} \times I_{\text{dasar}} = 9292 \angle -88,21^\circ \text{ Ampere}$$

$$I_{2\text{fasa}} = \frac{\sqrt{3} \times (1 + j 0)}{2 \times (0,0324 + j 0,1836 \text{ pu})} = 4,6461 \angle -79,98^\circ \text{ Ampere}$$

$$= I_{2\text{fasa}} \times I_{\text{dasar}} = 8047 \angle -79,98^\circ \text{ Ampere}$$

$$I_{1\text{fasa}} = \frac{3 \times (1 + j 0)}{2 \times (0,0324 + j 0,1836 \text{ pu}) + 0,0545 + j 0,3767 \text{ pu}} = 3,9824 \angle -80,89^\circ \text{ Ampere}$$

$$= I_{1\text{fasa}} \times I_{\text{dasar}} = 6898 \angle -80,89^\circ \text{ Ampere}$$

b. Perhitungan arus hubung singkat pada panjang saluran 13 km adalah sebagai berikut:

$$I_{3\text{fasa}} = 1,1296 \angle -73,65^\circ \text{ Ampere atau}$$

$$I_{3\text{fasa}} = I_{3\text{fasa}} \times I_{\text{dasar}} = 1957 \angle -73,65^\circ \text{ Ampere}$$

$$I_{2\text{fasa}} = 0,9782 \angle -61,56^\circ \text{ Ampere atau}$$

$$I_{2\text{fasa}} = I_{2\text{fasa}} \times I_{\text{dasar}} = 1694 \angle -61,56^\circ \text{ Ampere}$$

$$I_{1\text{fasa}} = 0,5896 \angle -72,25^\circ \text{ Ampere atau}$$

$$I_{1\text{fasa}} = I_{1\text{fasa}} \times I_{\text{dasar}} = 1021 \angle -72,25^\circ \text{ Ampere}$$

3.3. Hasil Perhitungan Arus Hubung Singkat Penyulang Srikandi

Hasil perhitungan Arus Hubung singkat pada penyulang srikandi dapat dilihat pada tabel 1 berikut ini:

Tabel 1: Hasil Perhitungan 3 Jenis Arus Hubung Singkat

Jarak Gangguan (km)	Arus Gangguan Hubung Singkat (Ampere)		
	3 Fasa	2 Fasa	1 Fasa
0	12927 $\angle -90^\circ$	11195 $\angle -90^\circ$	10846 $\angle -90^\circ$
1	9292 $\angle -88,21^\circ$	8047 $\angle -79,98^\circ$	6897 $\angle -80,88^\circ$
2	7157 $\angle -85,57^\circ$	6198 $\angle -74,45^\circ$	4674 $\angle -77,6^\circ$
3	5793 $\angle -83,24^\circ$	5017 $\angle -71,01^\circ$	3531 $\angle -75,92^\circ$
4	4855 $\angle -81,33^\circ$	4205 $\angle -68,67^\circ$	2835 $\angle -74,9^\circ$
5	4175 $\angle -79,77^\circ$	3615 $\angle -66,99^\circ$	2368 $\angle -74,21^\circ$
6	3659 $\angle -78,5^\circ$	3169 $\angle -65,72^\circ$	2033 $\angle -73,72^\circ$
7	3256 $\angle -77,44^\circ$	2820 $\angle -64,73^\circ$	1781 $\angle -73,36^\circ$
8	2932 $\angle -76,55^\circ$	2539 $\angle -63,94^\circ$	1584 $\angle -73,07^\circ$
9	2666 $\angle -75,79^\circ$	2309 $\angle -63,29^\circ$	1427 $\angle -72,84^\circ$
10	2445 $\angle -75,14^\circ$	2117 $\angle -62,75^\circ$	1298 $\angle -72,65^\circ$
11	2257 $\angle -74,58^\circ$	1954 $\angle -62,29^\circ$	1190 $\angle -72,49^\circ$
12	2096 $\angle -74,08^\circ$	1815 $\angle -61,90^\circ$	1099 $\angle -72,36^\circ$
13	1956 $\angle -73,65^\circ$	1694 $\angle -61,56^\circ$	1021 $\angle -72,25^\circ$

Dengan demikian bahwa panjang saluran dapat berpengaruh pada besarnya nilai impedansi saluran, dimana semakin panjang saluran maka semakin besar juga nilai impedansi serta berbanding terbalik dengan arus gangguan hubung singkat. Terlihat pada tabel tersebut Arus Hubung Singkat terbesar adalah Arus Hubung singkat 3 Fasa pada jarak yang terdekat dari sumbernya yakni sebesar 12.927 Ampere. Sedangkan Arus Hubung singkat 2 fasa adalah sebesar 11.195 Ampere dan Arus Hubung singkat 1 fasa 10.846 Ampere.

3.4. Perhitungan Nilai TMS (Time Multiplier Setting) Recloser Penyulang Srikandi

a. *Setting Recloser* Penyulang Srikandi dengan arus hubung singkat 3 fasa

Karakteristik relai arus lebih yang digunakan adalah waktu terbalik (*inverse time relay*). Waktu kerja *recloser* paling ujung ditetapkan adalah 0,3 detik dan *setting* relai arus lebih ditetapkan 1,2 :

➤ I beban = 160 A , CT = 400 : 5, Iset Primer = 1,2 x I beban = 192 A,

➤ Iset sekunder = 192 A x $\frac{1}{Ratio CT}$ = 2,4 A

Perhitungan guna men-*setting* waktu recloser penyulang srikandi di sisi ujung dengan arus hubung singkat pada kilometer ke 1 menggunakan jenis *Standart Invers* sebagai berikut :

I_{fault} (gangguan 3 fasa) = 9292 Ampere, Iset (arus primer) = 192 A dan TMS = 0,173

b. *Setting Recloser* Penyulang Srikandi dengan arus hubung singkat 1 fasa

CT = 400 : 5, I set primer = 0,1 x I (gangguan hubung singkat 1 fasa pada 13 kilometer) = 102,1 A, I set sekunder = 102,1

$A \times \frac{1}{Ratio CT}$ = 1,28 A

Perhitungan yang digunakan men-*setting* waktu *recloser* penyulang srikandi di sisi ujung dengan arus hubung singkat km 1 menggunakan *standart invers* sebagai berikut :

I_{fault} (gangguan 1 fasa) = 6898 A, I set primer = 102,2 A, TMS = 0,19

3.5. Pemeriksaan Waktu Kerja (t) Recloser Penyulang Srikandi

Dalam menghitung waktu kerja (t) *recloser* yaitu menggunakan data arus hubung singkat yang berada pada jarak 1 km. Waktu Kerja *Recloser* arus hubung singkat 3 fasa (t = 0,3 detik). Waktu Kerja *Recloser* arus hubung singkat 1 fasa (t = 0,3 detik). Adapun Perhitungan Nilai TMS (*Time Multiplier Setting*) PMT Penyulang Srikandi diperoleh sebagai berikut.

Nilai waktunya (t) ditentukan sebesar waktu kerja rele *recloser* penyulang srikandi dijumlah dengan 0,4 yaitu 0,3 + 0,4 = 0,7 detik.

a. *Setting* PMT Penyulang Srikandi dengan arus hubung singkat 3 fasa

➤ I beban = 210 A , CT = 400 : 5, Iset Primer = 1,2 x I beban = 252 A, Iset sekunder = 252

$A \times \frac{1}{Ratio CT}$ = 3,15 A

Perhitungan guna men-*setting* waktu PMT penyulang srikandi disisi ujung dengan arus hubung singkat pada kilometer 1 menggunakan *Standart Invers* sebagai berikut :

I_{fault} (gangguan 3 fasa) = 9292 Ampere, Iset (arus primer) = 252 Ampere, TMS = 0,37

b. *Setting* PMT Penyulang Srikandi dengan arus hubung singkat 1 fasa

Perhitungan *setting time* PMT penyulang srikandi dengan menggunakan arus hubung singkat 1 fasa pada 1 kilometer. diperoleh hasil sebagai berikut:

I_{fault} (gangguan 1 fasa) = 6897 A,

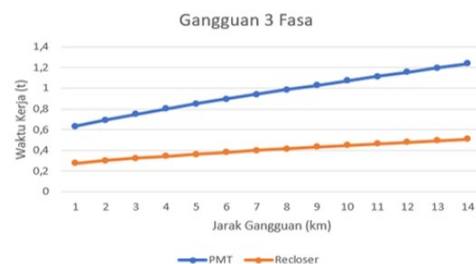
I set primer = 102,1 A,

TMS = 0,43

Untuk menghitung waktu kerja (t) PMT penyulang srikandi maka menggunakan data arus hubung singkat yang terletak pada jarak 1 km. Waktu kerja PMT arus hubung singkat 3 fasa (t= 0,69 detik). Waktu kerja PMT arus hubung singkat 1 fasa (t = 0,68 detik) dapat diperoleh sesuai pada tabel 2 berikut ini.

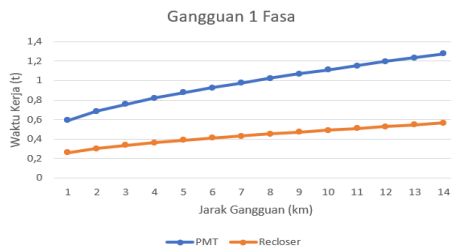
Tabel 2: Hasil Perhitungan Waktu Kerja PMT terhadap gangguan 3 fasa

Jarak Gangguan (km)	Gangguan 3 Fasa	
	Waktu Kerja PMT (TMS = 0,37)	Waktu Kerja Recloser (TMS = 0,173)
0	0,63	0,27
1	0,69	0,3
2	0,75	0,32
3	0,8	0,34
4	0,85	0,36
5	0,9	0,38
6	0,94	0,39
7	0,99	0,41
8	1,03	0,43
9	1,07	0,44
10	1,11	0,46
11	1,16	0,47
12	1,2	0,49
13	1,24	0,51



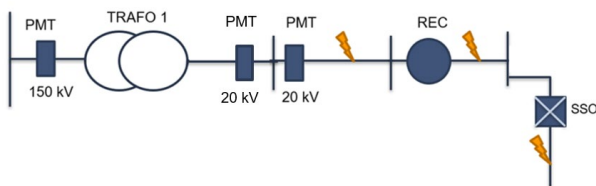
Tabel 3: Hasil Perhitungan Waktu Kerja PMT terhadap gangguan 1 fasa

Jarak Gangguan (km)	Gangguan 1 Fasa	
	Waktu Kerja PMT (TMS = 0,43)	Waktu Kerja Recloser (TMS = 0,19)
0	0,59	0,26
1	0,68	0,3
2	0,76	0,33
3	0,82	0,36
4	0,88	0,39
5	0,93	0,41
6	0,98	0,43
7	1,02	0,45
8	1,07	0,47
9	1,11	0,49
10	1,15	0,51
11	1,2	0,53
12	1,24	0,55
13	1,28	0,56



3.6. Koordinasi PMT, Recloser, dan SSO

Pada Gambar 2 di bawah ini terlihat konfigurasi antara posisi peralatan dan analisa titik gangguan yang terjadi sepanjang saluran, sedangkan tabel 4 menampilkan setting time.



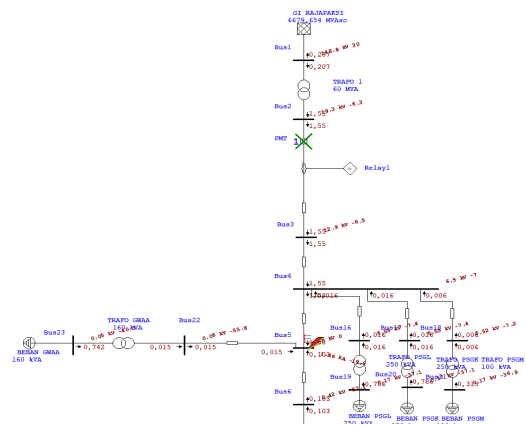
Gambar 2: Hasil Perhitungan Waktu Kerja PMT

Tabel 4: Hasil setting time Kerja PMT-Recloser

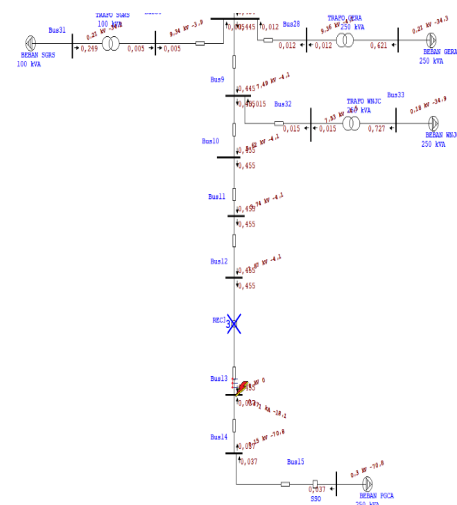
	PMT	Recloser	SSO
Posisi	Utama	Utama	Cabang
Kerja	Gangguan hubung singkat	Gangguan hubung singkat	Hilang tegangan Merasakan arus gangguan
Waktu kerja	Setting time	Setting time	Setting arus
Setting time	0,37	0,17	-

3.7. Hasil Perbandingan Perhitungan Manual dan Simulasi

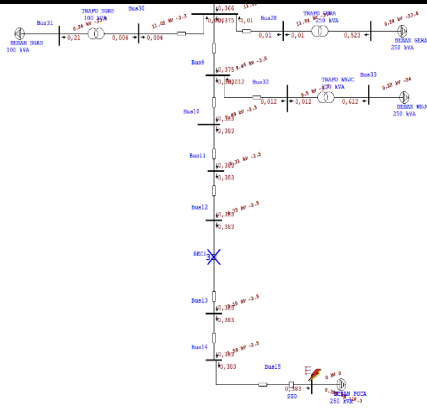
Jarak (km)	Arus Gangguan Hubung Singkat (kA)								
	3 Fasa			2 Fasa			1 Fasa		
	Hitungan	Simulasi	Δ%	Hitungan	Simulasi	Δ%	Hitungan	Simulasi	Δ%
0	12,927	13,7942	6,29	11,195	11,9462	6,71	10,8458	11,7488	7,62
1	9,292	9,37086	0,84	8,047	8,115	0,85	6,897	6,998	1,44
2	7,157	7,03753	1,71	6,198	6,094	1,67	4,674	4,669	0,12
3	5,793	5,60793	3,3	5,017	4,856	3,21	3,531	3,498	0,94
4	4,855	4,65663	4,28	4,205	4,032	4,11	2,835	2,796	1,39
5	4,175	3,98311	4,8	3,615	3,449	4,59	2,368	2,329	1,67
6	3,659	3,47838	5,21	3,169	3,012	4,95	2,033	1,996	1,85
7	3,256	3,08172	5,67	2,82	2,668	5,39	1,781	1,745	2,06
8	2,932	2,7625	6,15	2,539	2,392	5,79	1,584	1,549	2,26
9	2,666	2,50359	6,52	2,309	2,168	6,1	1,427	1,393	2,44
10	2,445	2,28941	6,81	2,117	1,982	6,37	1,298	1,266	2,52
11	2,257	2,10934	7,01	1,954	1,826	6,55	1,191	1,16	2,67
12	2,096	1,95583	7,19	1,815	1,693	6,72	1,099	1,071	2,61
13	1,956	1,82344	7,29	1,694	1,579	6,78	1,021	0,994	2,71
	Δ %		5,23	Δ %		4,59	Δ %		2,31



Gambar 3: Gangguan Terjadi Setelah PMT



Gambar 4: Gangguan Terjadi Setelah Recloser



Gambar 5: Gangguan Terjadi Setelah SSO

4. KESIMPULAN

Berdasarkan uraian di atas dapat diperoleh kesimpulan sebagai berikut:

1. Koordinasi PMT, *recloser* serta SSO sangat tergantung pada letak gangguan. Jika gangguan terjadi sesudah SSO dan sesudah *Recloser*, maka terdapat dua kemungkinan posisi gangguan : a. Jika gangguan sesudah SSO, maka *recloser* yang bekerja terlebih dahulu. Karena SSO hanya akan bekerja apabila hilangnya tegangan dan merasakan gangguan. Saat *recloser open*, maka SSO merasakan adanya tegangan yang hilang, kemudian SSO akan *open*. Saat SSO *open*, maka *recloser* akan menutup kembali. Karena gangguan telah dilepas oleh SSO. Jaringan PMT masih teraliri listrik. b. Jika gangguan sesudah *recloser*, maka yang akan bekerja adalah *recloser* dan SSO tidak bekerja.
2. *Setting time/TMS* koordinasi dari hasil perhitungan pada PMT dan *recloser*, pada gangguan 3 fasa adalah 0,37 dan 0,173. Sedangkan pada gangguan 1 fasa adalah 0,43 dan 0,19. SSO tidak terdapat *setting time* hanya terdapat *setting arus*.
3. Nilai deviasi antara perhitungan manual dan simulasi didapat dengan rata-rata pada gangguan 3 fasa sebesar 5,23%, sedangkan pada gangguan 2 fasa bernilai 4,59% dan pada gangguan 1 fasa nilai deviasinya hanyalah 2,31%.

DAFTAR REFERENSI

- [1] Sarimun, Wahyudi. 2014. Buku Saku Pelayanan Teknik (Yantek). Edisi 3. Depok : Garamond.
- [2] Fauziah, Diah. 2017. Analisis Koordinasi *Recloser* dan Relay Pada Penyulang Lalolang

Pada SUTM 20 kV. Makassar : Politeknik Negeri Ujung Pandang.

- [3] Silaban, Abraham. 2009. Studi Tentang Penggunaan *Recloser* Pada Sistem Jaringan Distribusi 20 kV. Medan : Universitas Sumatera Utara.
- [4] Sudarni, S. (2021). STUDI UNJUK KERJA *RECLOSER* PADA JARINGAN DISTRIBUSI SUTM 20 KV PENYULANG GUNUNG MAS GI-PANGKEP (*Doctoral dissertation*, UNIVERSITAS HASANUDDIN).
- [5] Fauziah, Diah. 2017. Analisis Koordinasi *Recloser* dan Relay Pada Penyulang Lalolang Pada SUTM 20 kV. Makassar : Politeknik Negeri Ujung Pandang.
- [6] Basri, Hasan. 1997. Sistem Distribusi Tenaga Listrik. Jakarta: Penerbit ISTN.
- [7] Wisnu. 2012. “Analisis Koordinasi antara *Recloser* dan FCO”. Laporan Tugas Akhir. jogja: Jurusan Teknik Elektro Universitas Gadjah Mada.
- [8] Taufiq dkk. 2016. "Analisis Resetting *Recloser* pada Saluran WLI 06 Trafo 20 MVA 150 kV Gardu Induk Weleri Kendal Dengan Siulasi ETAP 12.6.0". Dalam *Transient*, Volume 5, No. 4: 514.
- [9] Ruschel, W.J., dan A. A. Wayne. 1989. "*Coordination of Relays, Reclosers, and Sectionalizing Fuses for Overhead Lines in the Oil Patch*". IEEE Transactions On