

Analisis Koordinasi PMT, Recloser, dan Sectionalizer Pada Sistem Proteksi Penyulang SGN-02 GI Sanggrahan Menggunakan ETAP Berbasis PLC & SCADA

Syahid, Yusnan Badruzzaman, Alfiani Kusumawardani

Politeknik Negeri Semarang

E-mail : syahidkbm@gmail.com, yusnan.badruzzaman@polines.ac.id, alfianiwardani@gmail.com

Abstrak

Jaringan distribusi primer PT PLN (Persero) UP3 Magelang khususnya ULP Magelang Kota terdiri dari beberapa penyulang, salah satunya adalah Penyulang Sanggrahan 02. Sistem pengaman jaringan pada Penyulang Sanggrahan 02 terdiri dari satu PMT, satu *recloser*, dan satu *sectionalizer*. Menurut data rekap gangguan Penyulang Sanggrahan 02 pada 29 Januari 2020 telah terjadi gangguan di depan *sectionalizer* dan berada pada zona kerja *High Current Lockout (HCL) recloser* kemudian yang terjadi adalah *recloser* trip dan lockout. Oleh karena itu zona kerja *recloser* pada Penyulang Sanggrahan 02 perlu dilakukan setting ulang guna meningkatkan keandalan jaringan Sanggrahan 02. Pada saat melakukan setting ulang perlu dilakukan percobaan simulasi koordinasi antara PMT SGN-02, *Recloser* M2-67, dan *Sectionalizer* M2-135-2 yang meliputi simulasi arus hubung singkat dan simulasi koordinasi. Dari hasil setting ulang tersebut koordinasi antara PMT SGN-02, *Recloser* M2-67, dan *Sectionalizer* M2-135-2 telah baik, karena apabila terdapat gangguan di depan *Sectionalizer* maka *Sectionalizer* M2-135-2 dapat lockout dan meminimalisir daerah yang padam. Sehingga kerugian energi yang dapat dihindari PT PLN (Persero) ULP Magelang Kota sebesar 1186,31 kWh. Hasil simulasi ini kemudian dimasukkan ke dalam modul PLC dan SCADA maka diperoleh sebuah simulasi yang mendekati kondisi yang ada di lapangan. PLC Master yang dipakai adalah type M221 dari PT Schneider Electric.

Kata kunci : ETAP, PMT, *Recloser*, *Sectionalizer*

Abstract

The primary distribution network of PT PLN (Persero) UP3 Magelang, especially ULP Magelang Kota, consists of several feeders, one of which is the Sanggrahan 02 Feeder. The network security system on the Sanggrahan 02 Feeder consists of one PMT, one recloser, and one sectionalizer. According to the data on the disturbance recap of Sanggrahan 02 on January 29, 2020, there was a disturbance in front of the sectionalizer and was in the High Current Lockout (HCL) recloser work zone then what happened was a recloser trip and lockout. Therefore, the recloser work zone at the Sanggrahan 02 Feeder needs to be reset in order to increase the reliability of the Sanggrahan 02 network. When resetting it, it is necessary to carry out a coordination simulation experiment between PMT SGN-02, Recloser M2-67, and Sectionalizer M2-135-2 which includes short circuit current simulation and coordination simulation. From the results of the reset, the coordination between PMT SGN-02, Recloser M2-67, and Sectionalizer M2-135-2 has been good, because if there is a disturbance in front of the Sectionalizer, the M2-135-2 Sectionalizer can lockout and minimize areas that go out. So that the energy loss that can be avoided by PT PLN (Persero) ULP Magelang Kota is 1186,31 kWh. The simulation results are then entered into the PLC and SCADA modules so that a simulation is obtained that is close to the conditions in the field. The PLC Master used is the M221 type from PT Schneider Electric.

Keywords : ETAP, PMT, *Recloser*, *Sectionalizer*

I. PENDAHULUAN

Sistem pengaman jaringan pada penyulang Sanggrahan 02 atau disingkat SGN-02 terdiri dari satu PMT, satu *recloser*, dan satu *sectionalizer*. Sistem pengaman jaringan pada penyulang SGN-02 perlu dilakukan setting ulang karena menurut data rekap gangguan penyulang SGN-02 pada 29 Januari 2020 telah terjadi kegagalan koordinasi antara *recloser* dan *sectionalizer*. Hal ini terjadi

dikarenakan tanaman bambu mengenai jaringan tegangan menengah di M2-135-10 yang terletak di depan *sectionalizer* dan menyebabkan *recloser* lockout. Zona kerja *High Current Lockout (HCL)* dan *High Current Trip (HCT) recloser* sebelum dilakukan penyetingan ulang adalah melampaui letak *sectionalizer* yang berjarak 3,6 km dari *recloser*. Sehingga apabila terjadi gangguan di depan *sectionalizer* dan berada pada zona kerja *High Current Lockout (HCL)* dan *High Current*

Trip (HCT) maka *recloser* akan *trip* dan *lockout*. Hal ini menyebabkan *recloser* tidak dapat berkoordinasi dengan *sectionalizer* untuk mengamankan jaringan dan meminimalkan daerah padam akibat gangguan.

Berdasarkan latar belakang diatas, dapat dirumuskan permasalahan sebagai berikut: bagaimana perhitungan untuk menentukan setting Over Current Relay (OCR) dan Ground Fault Relay (GFR) pada PMT dan *recloser* agar dapat berkoordinasi secara optimal, bagaimana cara kerja PMT, *Recloser* dan *Sectionalizer* pada Penyulang SGN-02 setelah dilakukan resetting beserta dampaknya, bagaimana cara mensimulasikan koordinasi antara PMT, *Recloser*, dan *Sectionalizer* pada Penyulang SGN-02.

Penulisan tugas akhir ini bertujuan : memahami cara kerja PMT, *Recloser* dan *Sectionalizer* pada penyulang SGN-02 Gardu Induk Sanggrahan, memahami cara kerja peralatan pengaman hubung singkat penyulang utama pada Jaringan Distribusi Tegangan Menengah 20 kV, memahami koordinasi kerja PMT, *Recloser* dan *Sectionalizer* pada penyulang SGN-02 Gardu Induk Sanggrahan, mensimulasikan koordinasi antara PMT, *Recloser* dan *Sectionalizer* pada Penyulang SGN-02 Gardu Induk Sanggrahan dalam bentuk simulator menggunakan PLC berbasis SCADA.

Agar penyelesaian masalah yang dilakukan tidak menyimpang dari ruang lingkup yang ditentukan, maka akan dilakukan pembatasan masalah. Adapun batasan masalah ialah sebagai berikut : penjelasan mengenai PMT, *Recloser* dan *Sectionalizer* sebagai peralatan pengaman pada penyulang SGN-02 dengan perhitungan secara manual, menggunakan ETAP dan disimulasikan dengan menggunakan PLC dan SCADA, simulasi koordinasi kerja antara PMT, *Recloser* dan *Sectionalizer* akibat gangguan hubung singkat satu fasa ke tanah dan antar fasa, software SCADA yang dipakai adalah Vijeo Citect 7.20 yang digunakan hanya untuk on / off proses, memonitoring dan mengontrol proses tanpa akuisisi data.

II. METODE PENELITIAN

Metode yang digunakan pada penyusunan tugas akhir ini adalah:

1. Studi Pustaka

Metode ini dilakukan dengan cara mencari data baik dari buku maupun internet yang berhubungan dengan materi tugas akhir ini, yaitu tentang jenis gangguan hubung singkat dan analisa gangguan hubung singkat.

2. Bimbingan

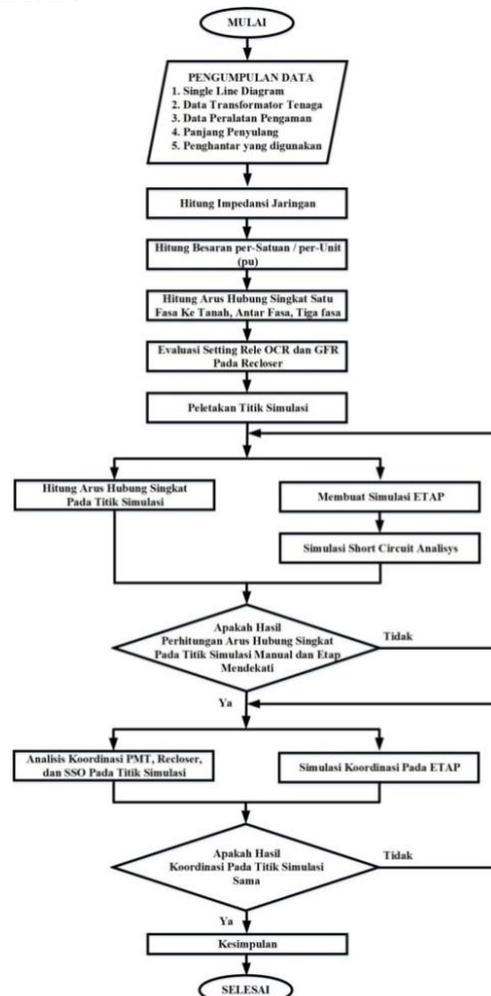
Metode ini dilakukan dengan cara meminta pengarah dan petunjuk dari dosen pembimbing, dosen umum, serta pembimbing dari pihak PT PLN (Persero).

3. Observasi

Metode ini dilaksanakan dengan cara melakukan pengamatan langsung ke lapangan mengenai keadaan jaringan SGN-02 mulai dari PMT *Outgoing* 20 kV SGN-02 sampai dengan ujung penyulang serta mengumpulkan data arus hubung singkat.

4. Komparatif

Metode ini dilaksanakan dengan cara membandingkan dua kelompok data atau lebih. Pada analisis ini dilakukan dengan cara membandingkan perhitungan arus hubung singkat secara manual dan dengan aplikasi ETAP.



Gambar 1 *Flowchart* Analisis Koordinasi Pengaman Penyulang SGN-02

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Perhitungan Arus Hubung Singkat

Perhitungan arus hubung singkat satu fasa ke tanah, antar-fasa, dan tiga fasa dilakukan agar hasil perhitungan yang didapat bisa digunakan sebagai besarnya nilai arus gangguan untuk simulator dan sekaligus untuk mencari waktu kerja dari peralatan pengaman saat melakukan simulasi.

Perhitungan impedansi sumber di sisi tegangan tinggi adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned} X_{STT} &= \frac{kV^2 \times 1000}{kVA_{SC\ TT}} \\ &= \frac{150^2 \times 1000}{2904649} \\ &= j\ 7,7462\ \Omega \end{aligned}$$

Perhitungan impedansi sumber di sisi tegangan menengah adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned} X_{STM} &= \frac{kV_{TM}^2}{kV_{TT}^2} \cdot X_{STT} \\ &= \frac{20^2}{150^2} \cdot j\ 7,7462 \\ &= j\ 0,1377\ \Omega \end{aligned}$$

Perhitungan impedansi urutan positif dan negatif (X_{T1}) = (X_{T2}) dapat menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$\begin{aligned} X_{T1} &= Z_{trafo} (\%) \cdot \frac{kV^2 \times 1000}{kVA} \\ &= 10,4\% \cdot \frac{20^2 \times 1000}{60.000} \\ &= j\ 0,6933\ \Omega \end{aligned}$$

$$X_{T1} = X_{T2} = Z_{T1} = Z_{T2} = j\ 0,6933\ \Omega$$

Impedansi trafo urutan nol dapat dihitung menggunakan persamaan berikut: (Trafo tenaga IV GI Sangrahan mempunyai belitan Ynyn)

$$\begin{aligned} X_{T0} (\Omega) &= X_{T1} \\ &= j\ 0,6933 \end{aligned}$$

Perhitungan nilai impedansi saluran urutan positif, negatif, dan nol adalah:

$$\begin{aligned} Z_{sal1} = Z_{sal2} &= 12,1 (0,1344 + j\ 0,3158) \\ &= (1,6262 + j\ 3,8212)\ \Omega \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Z_{sal0} &= 12,1 (0,3631 + j\ 1,6180) \\ &= (4,3935 + j\ 19,5778)\ \Omega \end{aligned}$$

Perhitungan impedansi total jaringan urutan positif adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned} Z_{1\ eq} &= X_{STM} + Z_{T1} + Z_{sal1} \\ &= (j\ 0,1377) + (j\ 0,6933) + \\ &\quad (1,6262 + j\ 3,8212) \\ &= (1,6262 + j\ 4,6522)\ \Omega \end{aligned}$$

Perhitungan impedansi total jaringan urutan negatif adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned} Z_{2\ eq} &= X_{STM} + Z_{T2} + Z_{sal2} \\ &= (j\ 0,1377) + (j\ 0,6933) + \\ &\quad (1,6262 + j\ 3,8212) \\ &= (1,6262 + j\ 4,6522)\ \Omega \end{aligned}$$

Perhitungan impedansi total jaringan urutan nol adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned} Z_{0\ eq} &= Z_{T0} + Z_{sal0} \\ &= (j\ 0,6933) + (4,3935 + j\ 19,5778) \\ &= (4,3935 + j\ 20,2711)\ \Omega \end{aligned}$$

Perhitungan besaran per-satuan / per-unit

$$\begin{aligned} I_{base\ 20\ kV} &= \frac{kVA_b}{\sqrt{3}\ kV_b} \\ &= \frac{100 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 20} \\ &= 2886,751\ A \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Z_{base\ 20\ kV} &= \frac{(kV_b)^2 \times 1000}{kVA_b} \\ &= \frac{20^2 \times 1000}{100.000} \\ &= 4,0\ \Omega \end{aligned}$$

Perhitungan impedansi total jaringan urutan positif adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned} Z_{1\ eq\ (pu)} &= \frac{Z_{1\ eq} (\Omega)}{Z_B} \\ &= \frac{1,6262 + j\ 4,6522}{4} \\ &= (0,4066 + j\ 1,1631)\ pu \end{aligned}$$

Perhitungan impedansi total jaringan urutan negatif adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned} Z_{2\ eq\ (pu)} &= \frac{Z_{2\ eq} (\Omega)}{Z_B} \\ &= \frac{1,6262 + j\ 4,6522}{4} \\ &= (0,4066 + j\ 1,1631)\ pu \end{aligned}$$

Perhitungan impedansi total jaringan urutan nol adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned} Z_{0\ eq\ (pu)} &= \frac{Z_{0\ eq} (\Omega)}{Z_B} \\ &= \frac{4,3935 + j\ 20,2711}{4} \\ &= (1,0984 + j\ 5,0678)\ pu \end{aligned}$$

Perhitungan arus hubung satu fasa ke tanah adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned} 3Z_f &= 3 \times 0,3 \\ &= j\ 0,9\ \Omega \\ &= \frac{0,9}{4} \\ &= j\ 0,225\ \Omega \text{ dalam satuan (pu)} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} I_{a1} &= \frac{E_a}{Z_1 + Z_2 + Z_0 + 3Z_f} \\ &= \frac{1 \angle 0^\circ}{(0,4066 + j\ 1,1631) + (0,4066 + j\ 1,1631) + \\ &\quad \frac{(1,0984 + j\ 5,0678) + 0,225}{1 \angle 0^\circ}} \\ &= \frac{(2,1366 + j\ 7,394)}{1 \angle 0^\circ} \\ &= \frac{(7,6965 \angle 73,8826^\circ)}{1 \angle 0^\circ} \\ &= 0,1299 \angle -73,8826^\circ\ pu \\ &= (0,0361 - j\ 0,1248)\ pu \end{aligned}$$

$I_{a2} = I_{a0} = I_{a1} = (0,0361 - j 0,1248)$ pu
 Besarnya arus gangguan hubung singkat pada sistem adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned} I_a &= I_{a0} + I_{a1} + I_{a2} \\ &= (0,0361 - j 0,1248) + (0,0361 - j 0,1248) + (0,0361 - j 0,1248) \\ &= (0,1083 - j 0,3744) \text{ pu} \\ &= 0,382 \angle -73,8668^\circ \\ I_b &= 0 \\ I_c &= 0 \end{aligned}$$

Untuk mendapatkan arus gangguan dalam satuan Ampere arus-arus gangguan dalam satuan pu harus dikalikan dengan arus dasar sistem (I_B).

$$\begin{aligned} I_a &= 2886,751 \cdot 0,382 \angle -73,8668^\circ \\ &= 1102,7 - 73,8668^\circ \text{ Ampere} \\ I_b &= 0 \\ I_c &= 0 \end{aligned}$$

Perhitungan arus hubung singkat antar fasa adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned} I_{a1} &= \frac{E_a}{Z_1 + Z_2} \\ &= \frac{1 \angle 0^\circ}{(0,4066 + j 1,1631) + (0,4066 + j 1,1631)} \\ &= \frac{1 \angle 0^\circ}{(0,8132 + j 2,3262)} \\ &= \frac{1 \angle 0^\circ}{2,4642 \angle 70,7312^\circ} \\ &= 0,4058 \angle -70,7312^\circ \text{ pu} \\ &= (0,1339 - j 0,3831) \text{ pu} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} I_{a0} &= 0 \\ I_{a2} &= -I_{a1} \\ &= -(0,1339 - j 0,3831) \\ &= -0,1339 + j 0,3831 \\ &= 0,4058 \angle 109,2654^\circ \text{ pu} \end{aligned}$$

Besarnya arus gangguan hubung singkat pada sistem adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned} I_a &= 0 \\ I_b &= I_{a0} + a^2 \cdot I_{a1} + a \cdot I_{a2} \\ &= 0 + (1 \angle 240^\circ)(0,4058 \angle -70,7312^\circ) + (1 \angle 120^\circ)(0,4058 \angle 109,2654^\circ) \\ &= (0,4058 \angle 169,2688^\circ) + (0,4058 \angle 229,2654^\circ) \\ &= (-0,3987 + j 0,0756) + (-0,2648 - j 0,3075) \\ &= -0,6635 - j 0,2319 \text{ pu} \\ &= 0,7029 \angle -160,735^\circ \text{ pu} \\ I_c &= -I_b \\ &= -(-0,6635 - j 0,2319) \\ &= 0,6635 + j 0,2319 \text{ pu} \\ &= 0,7029 \angle 19,2650^\circ \text{ pu} \end{aligned}$$

Untuk mendapatkan arus gangguan dalam satuan Ampere arus-arus gangguan dalam satuan pu harus dikalikan dengan arus dasar sistem (I_B).

$$\begin{aligned} I_a &= 0 \\ I_b &= 2886,751 \cdot (0,7029 \angle -160,735^\circ) \\ &= 2029,09 \angle -159,08^\circ \text{ Ampere} \\ I_c &= 2886,751 \cdot (0,7029 \angle 19,2650^\circ) \\ &= 2029,09 \angle 19,2650^\circ \text{ Ampere} \end{aligned}$$

Perhitungan arus hubung singkat 3 fasa adalah sebagai berikut:

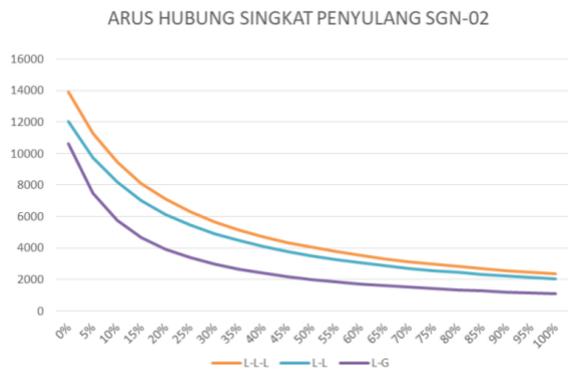
$$\begin{aligned} I_{a1} &= \frac{E_a}{Z_1} \\ &= \frac{1 \angle 0^\circ}{(0,4066 + j 1,1631)} \\ &= \frac{1 \angle 0^\circ}{(1,2321 \angle 70,7312^\circ)} \\ &= 0,8116 \angle -70,7312^\circ \text{ pu} \end{aligned}$$

Untuk mendapatkan arus gangguan dalam satuan Ampere arus-arus gangguan dalam satuan pu harus dikalikan dengan arus dasar sistem (I_B).

$$\begin{aligned} I_a &= 2886,751 \cdot 0,8116 \angle -70,7312^\circ \\ &= 2342,89 \angle -70,7312^\circ \text{ Ampere} \end{aligned}$$

TABEL 1 DATA ARUS HUBUNG SINGKAT PENYULANG SGN-02

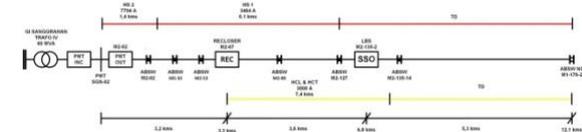
JARAK (kms)	Lokasi Gangguan	L-L-L	L-L	L-G
0	0%	13895	12033	10641
0.6	5%	11262	9753	7478
1.2	10%	9434	8170	5749
1.9	15%	8102	7016	4664
2.4	20%	7092	6142	3922
3.0	25%	6303	5458	3383
3.6	30%	5669	4910	2974
4.2	35%	5151	4460	2653
4.8	40%	4718	4086	2394
5.4	45%	4352	3769	2181
6.1	50%	4038	3497	2003
6.7	55%	3766	3262	1852
7.3	60%	3133	2713	1510
7.9	65%	2966	2569	1422
8.5	70%	2816	2439	1344
9.1	75%	2681	2322	1274
9.7	80%	2558	2215	1211
10.3	85%	2446	2118	1154
10.9	90%	2343	2029	1103
11.5	95%	3133	2713	1510
12.1	100%	2966	2569	1422



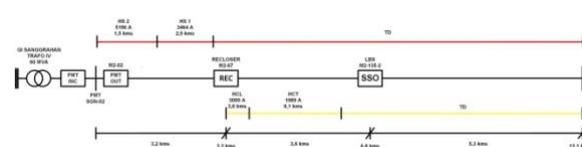
Gambar 2 Grafik Arus hubung Singkat Penyulang SGN-02

3.2 Perbandingan Zona Proteksi Penyulang SGN-02 Existing dan Baru

Perbandingan zona proteksi penyulang SGN-02 sebelum dan sesudah dilakukannya penyettingan ulang dapat dilihat pada gambar berikut :

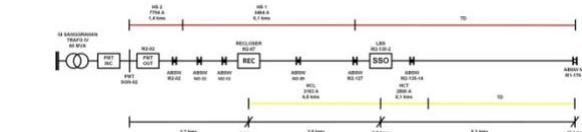


Gambar 3 Zona Proteksi OCR Penyulang SGN-02 Existing

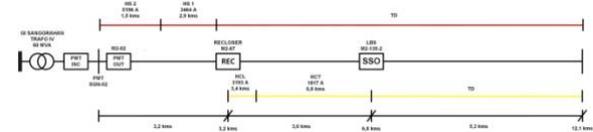


Gambar 4 Zona Proteksi GFR Penyulang SGN-02 Existing

Dapat dilihat pada gambar 3 zona kerja *High Current Lockout* (HCL) dan *High Current Trip* (HCT) recloser melampaui letak sectionalizer yang berjarak 3,6 km dari recloser. Sehingga apabila terjadi gangguan di depan sectionalizer dan berada pada zona kerja *High Current Lockout* (HCL) dan *High Current Trip* (HCT)) maka recloser akan trip dan lockout. Hal ini menyebabkan recloser tidak dapat berkoordinasi dengan sectionalizer untuk mengamankan jaringan dan meminimalkan daerah padam akibat gangguan.



Gambar 5 Zona Proteksi OCR Penyulang SGN-02 setelah Resetting



Gambar 6 Zona Proteksi GFR Penyulang SGN-02 setelah Resetting

Dapat dilihat pada gambar 5 setelah dilakukannya penyettingan ulang zona *High Current Lockout* (HCL) dan *High Current Trip* (HCT) recloser, maka apabila terjadi gangguan di depan sectionalizer gangguan tersebut dapat di backup oleh sectionalizer. Sehingga recloser tidak lagi lockout dan sectionalizer dapat meminimalkan daerah padam akibat gangguan.

3.3 Perbandingan Waktu Kerja Rele OCR dan GFR Penyulang SGN-02 Existing dan Baru

Setelah dilakukan penyetelan ulang zona recloser maka terdapat perbedaan waktu kerja antara sebelum dan sesudah dilakukannya penyettingan ulang. Adapun perbandingan waktu kerja penyulang SGN-02 data existing dan data baru dapat dilihat pada tabel berikut :

TABEL 2 WAKTU KERJA RELE OCR DAN GFR PENYULANG SGN-02 EXISTING

Panjang Penyulang km	Arus HS %	Rele OCR			Arus HS L-G	Rele GFR			
		Waktu Kerja		Zona		Waktu Kerja		Zona	
		PMT	Rec			PMT	Rec		
0	0%	12033	0	-	Higher2	10641	0	-	Higher2
0.6	5%	9753	0	-	PMT	7478	0	-	PMT
1.2	10%	8170	0	-	PMT	5749	0	-	PMT
1.9	15%	7016	0,3	-	Higher1	4664	0	-	Higher1
2.4	20%	6142	0,3	-	PMT	3922	0,3	-	Higher1
3.0	25%	5458	0,3	-	PMT	3383	0,3	-	PMT
3.6	30%	4910	0,3	0	HCL & HCT Recloser	2974	0,3	0	HCL Recloser
4.2	35%	4460	0,3	0		2653	0,56	0	HCT Recloser
4.8	40%	4086	0,3	0		2394	0,59	0	
5.4	45%	3769	0,3	0	2181	0,62	0		
6.1	50%	3497	0,3	0	Recloser	2003	0,64	0	TD Recloser
6.7	55%	3262	0,57	0		1852	0,67	0,43	
7.3	60%	3056	0,59	0		1722	0,70	0,44	
7.9	65%	2874	0,61	0,51	TD Recloser	1609	0,72	0,45	
8.5	70%	2713	0,64	0,52		1510	0,75	0,47	
9.1	75%	2569	0,66	0,54		1422	0,77	0,48	
9.7	80%	2439	0,68	0,55	TD Recloser	1344	0,80	0,49	
10.3	85%	2322	0,70	0,57		1274	0,83	0,50	
10.9	90%	2215	0,72	0,59		1211	0,86	0,51	
11.5	95%	2118	0,74	0,62	1154	0,88	0,53		
12.1	100%	2029	0,77	0,64	1103	0,91	0,54		

kms yang terletak di depan *sectionalizer* peralatan proteksi yang bekerja adalah *recloser* dan *sectionalizer*. Hal ini menandakan bahwa koordinasi antara *recloser* dan *sectionalizer* sudah baik, sehingga apabila terdapat gangguan di depan *sectionalizer* maka *sectionalizer* dapat bekerja untuk meminimalisir daerah yang padam

3.5 Kerugian Energi

Perhitungan kerugian energi dilakukan untuk memperhitungkan besar energi yang terbuang dan kerugian ekonomi yang dialami PT PLN (Persero) akibat dari trip *Recloser* M2-67 sebelum dan sesudah dilakukannya penyettingan ulang pada zona HCT dan HCL *Recloser* M2-67. Perhitungan energi dan ekonomi ini didasarkan pada data historis gangguan pada awal tahun 2020.

Sebelum dilakukannya penyettingan ulang pada zona HCT dan HCL *Recloser* M2-67. *Recloser* M2-67 dan LBS M2-135-2 pernah mengalami kegagalan koordinasi. Kegagalan koordinasi itu menyebabkan tidak terminimalisirnya daerah padam yang menyebabkan kerugian energi pada PT PLN (Persero). Kerugian tersebut dapat dihitung dengan menggunakan rumus sebagai berikut :

Data *Recloser* trip tanggal 29 Januari 2020

$$\begin{aligned} P &= \sqrt{3} \times VL \times IL \times \cos \phi \\ &= \sqrt{3} \times 20,5 \text{ kV} \times 116 \text{ A} \times 0,85 \\ &= 3501 \text{ kW} \\ &= 3,5 \text{ MW} \end{aligned}$$

Daya hilang sesaat terjadi trip pada *Recloser* M2-67 adalah 3,5 MW. Maka kerugian energi per jam sebesar :

$$\begin{aligned} E &= \sqrt{3} \times VL \times IL \times \cos \phi \times t \\ E &= \sqrt{3} \times 20,5 \text{ kV} \times 116 \text{ A} \times 0,85 \times \frac{32}{60} \text{ menit} \\ E &= \sqrt{3} \times 20,5 \text{ kV} \times 116 \text{ A} \times 0,85 \times 0,53 \text{ jam} \\ E &= 1867,2 \text{ kWh} \end{aligned}$$

Setelah dilakukannya penyettingan ulang pada zona HCT dan HCL *Recloser* M2-67. *Recloser* M2-67 dan LBS M2-135-2 dapat berkoordinasi dengan baik. Hal ini berdasarkan pada simulasi yang telah dilakukan menggunakan ETAP. Adapun prediksi kehilangan energi yang dapat dihindari sebagai berikut :

Data *Recloser* trip tanggal 29 Januari 2020

$$\begin{aligned} P &= \sqrt{3} \times VL \times IL \times \cos \phi \\ &= \sqrt{3} \times 20,5 \text{ kV} \times 73,7 \text{ A} \times 0,85 \\ &= 2.224,34 \text{ kW} \\ &= 2,22 \text{ MW} \end{aligned}$$

Daya hilang sesaat terjadi trip pada *Recloser* M2-67 adalah 0,35 MW. Maka kerugian energi per jam sebesar :

$$\begin{aligned} E &= \sqrt{3} \times VL \times IL \times \cos \phi \times t \\ E &= \sqrt{3} \times 20,5 \text{ kV} \times 73,7 \text{ A} \times 0,85 \times \frac{32}{60} \text{ menit} \\ E &= \sqrt{3} \times 20,5 \text{ kV} \times 73,7 \text{ A} \times 0,85 \times 0,53 \text{ jam} \\ E &= 1186,31 \text{ kWh} \end{aligned}$$

Berdasarkan simulasi yang telah dilakukan menggunakan ETAP, dengan gangguan yang sama *recloser* dan *sectionalizer* dapat berkoordinasi dengan baik. Sehingga kerugian energi yang dapat dihindari sebesar 1186,31 kWh

IV. KESIMPULAN

Dari pembahasan yang telah dilakukan, dapat diambil beberapa kesimpulan yaitu:

1. Cara menentukan *setting* rele OCR dan GFR pada PMT dan *recloser* penyulang SGN-02 agar dapat berkoordinasi adalah dengan menyetel arus kerja dan waktu kerja dari masing-masing rele sesuai dengan karakteristiknya. Pada penyulang SGN-02 rele OCR dan GFR PMT SGN-02 bekerja dengan karakteristik *instaneous*, *definite*, dan *invers*. Untuk rele OCR dan GFR *Recloser* M2-67 hanya bekerja dengan karakteristik *instaneous* dan *invers*.
2. Koordinasi rele OCR dan GFR pada PMT, *Recloser*, dan *Sectionalizer* pada penyulang SGN-02 setelah dilakukan *resetting* pada *recloser* adalah apabila terjadi gangguan antar fasa maka yang bekerja adalah rele OCR, sedangkan untuk gangguan hubung singkat satu fasa tanah adalah rele GFR. Dari hasil perhitungan didapatkan *setting* rele OCR *recloser* pada zona HCL yang sebelumnya sebesar 3000 A menjadi 3193 A, pada zona HCT yang sebelumnya sebesar 3000 A menjadi 2800 A, pada zona TD arus *setting*nya tetap sama yaitu 400 A dengan TMS 0,15. Untuk *setting* rele GFR *recloser* pada zona HCL yang sebelumnya sebesar 3000 A menjadi 3193 A, pada zona HCT yang sebelumnya sebesar 1989 A menjadi 1895 A, pada zona TD arus *setting*nya tetap sama yaitu 130 A dengan TMS 0,17. Sehingga apabila terjadi gangguan antar fasa dan satu fasa ke tanah pada jarak 60%, pengamanan yang merasakan arus gangguan adalah *Recloser* M2-67 yang dikoordinasikan dengan LBS M2-135-2 yang telah disetel sebagai *sectionalizer*. Sehingga *recloser* akan menutup kembali dan

- sectionalizer* akan trip untuk meminimalisasi daerah yang mengalami gangguan.
3. Cara mensimulasikan peralatan pengaman PMT dengan *recloser* dan *sectionalizer* pada penyulang SGN-02 dengan menggunakan *software* So Machine dan Vijeo Citec untuk pembuatan SCADA yang terhubung oleh PLC Modicon. Adapun cara mensimulasikannya adalah dengan mengatur waktu kerja masing-masing pengaman berdasarkan arus gangguan yang terjadi. Waktu kerja pengaman ini bisa didapat dengan menghitung arus hubung singkat terlebih dahulu. Kemudian mencari waktu kerja pengaman. Sehingga dapat diketahui peralatan yang akan bekerja serta waktu kerja yang terjadi apabila terjadi gangguan.
- DAFTAR PUSTAKA
- [1] Bolton, William. 2004. Programmable Logic Controller. Jakarta: Erlangga
- [2] Firdaus, Akhmad Jamaah. 2017. BPKM Proteksi Sistem Tenaga Listrik. Semarang: Politeknik Negeri Semarang
- [3] Multa, Lesnanto. 2013. Modul Pelatihan ETAP. Jurnal Teknik Elektro Universitas Gadjah Mada : Yogyakarta
- [4] Marsudi, Djiteng. 2006. Operasi Sistem Tenaga Listrik. Graha Ilmu : Jakarta
- [5] PT. PLN (Persero). 2010. Materi Diklat Perlengkapan Jaringan
- [6] Sarimun, Wahyudi. 2016. Proteksi Sistem Distribusi Tenaga Listrik. Bekasi: Garamond
- [7] Schneider Electric. 2014. Modicon M221 Logic Controller. France : Schenider Electric.
- [8] Sulasno. 1991. Analisa Sistem Tenaga Listrik. Satya Wacana : Semarang
- [9] Tambunan, Dolly Ansar., 2014. Laporan Akhir. Penggunaan Gas SF6 Pada Pemutus Tenaga (PMT) Penyulang Kurma Di Gardu Induk Boom Baru 20 kV PT PLN (Persero) Palembang. Politeknik Negeri Sriwijaya
- [10] Tasiyam. 2007. Proteksi Sistem Tenaga Listrik. Yogyakarta: Teknosain