

Rele Analisa Koordinasi *Setting* Rele Mengurangi Daerah Padam Pada Penyulang PE6 Di PT. PLN (PERSERO) Rayon Kotanopan

Indra Roza¹, Agus Almi Nasution²

^{1,2}Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik dan Komputer
Universitas Harapan Medan

Jl. HM. Joni No.70C, Kota Medan, Telp. +62617366804, Sumatera Utara 20217

e-mail: indrarozar@gmail.com¹, agusalminst@gmail.com²

Abstrak— Peralatan proteksi pada jaringan tegangan menengah 20 kV berperan memutuskan gangguan yang dapat berakibat meluasnya daerah padam. Besar arus gangguan di pengaruhi setting peralatan proteksi di jaringan sehingga selektif pada daerah yang terkena gangguan. Koordinasi peralatan proteksi sangat dibutuhkan agar gangguan tidak meluas dan merugikan konsumen. PT. PLN (Persero) Rayon Kotanopan disuplai Gardu Induk Padang Sidempuan penyulang PE6. Besar reaktansi sumber penyulang PE6 adalah 0,2278 ohm, reaktansi trafo daya adalah 7.92 ohm dan impedansi 18,8094+j28,7535 ohm. Penyulang PE6 panjangnya mencapai 107 Kms, terdapat tiga peralatan proteksi utama di jaringan tegangan menengah yaitu, GH Pintu Padang, *Recloser* Perbangunan dan *Recloser* Maga. Kendala yang dihadapi ketiga peralatan proteksi tersebut adalah belum bisa berkoordinasi secara maksimal, sehingga gangguan yang terjadi pada jaringan tegangan menengah tidak bisa *diback up* oleh peralatan proteksi, sehingga daerah padam menjadi semakin luas. Besar arus gangguan tiga fasa 274,88 sampai dengan 8745,91 ampere, dua fasa 238,05 sampai dengan 7574,18 ampere, satu fasa ketanah 107,38 sampai dengan 285,65 ampere. Besar *setting* penyulang PE6 OCR 200 Ampere menggunakan kurva *standart Invers* dengan *Time Multiple Setting*nya 0,09 sedangkan arus instannya disetting 600 ampere, *setting Ground Fault Relai* (GFR) arus *setting* 20 ampere, menggunakan kurva *standart invers Time Multiple setting*nya 0,09 sedangkan arus instannya disetting 60 Ampere. Dampak diperoleh hasil perhitungan arus gangguan hubung singkat dan *setting* peralatan proteksi yaitu: akan memudahkan petugas menentukan titik lokasi gangguan berdasarkan jenis gangguan dan arus gangguan yang muncul pada layar peralatan proteksi. *Setting* peralatan proteksi berkaitan dengan koordinasi antar peralatan proteksi bekerja sesuai dengan syarat-syarat baik antar peralatan proteksi membuat pelayanan penyaluran tenaga listrik tetap prima, mengamankan daerah kerjanya sehingga pemadaman akibat gangguan bisa diminimalisir. *Recloser* Maga dan *recloser*. Perbangunan yang tadinya jarang bekerja sekarang telah bekerja sesuai fungsinya mengamankan gangguan di wilayahnya.

Kata kunci : Analisis, Koordinasi *Setting* Rele, Gangguan, Penyulang FE6

Abstract— Protection equipment in the 20 kV medium voltage network plays a role in deciding the interference that can result in the expansion of the outage area. The magnitude of the fault current is influenced by the settings of the protection equipment in the network so that it is selective in the area affected by the disturbance. Coordination of protective equipment is needed so that interference does not spread and harm consumers. PT. PLN (Persero) Kotanopan Rayon is supplied with the Padang Sidempuan Substation, which feeds PE6. The reactance of the PE6 feeder source is 0.2278 ohms, the power transformer reactance is 7.92 ohms and the impedance is 18.8094+j28.7535 ohms. The PE6 feeder reaches 107 Kms in length, there are three main protection equipment in the medium voltage network, namely, GH Pintu Padang, Construction Recloser and Maga Recloser. The obstacle faced by the three protection equipment is that they have not been able to coordinate optimally, so that disturbances that occur in the medium voltage network cannot be backed up by the protection equipment, so that the outage area becomes wider. The magnitude of the three-phase fault current is 274.88 to 8745.91 amperes, two-phase is 238.05 to 7574.18 amperes, one phase to ground is 107.38 to 285.65 amperes. The setting for the PE6 OCR feeder is 200 Ampere using the standard Inverse curve with Time Multiple Setting 0.09 while the instant current is set to 600 amperes, the Ground Fault Relay (GFR) setting is 20 amperes, using the standard curve inverse Time Multiple setting is 0.09 while the instant current is set to 60 amperes. The impact is obtained from the calculation of the short circuit fault current and the setting of the protection equipment, namely: it will make it easier for officers to determine the fault location point based on the type of disturbance and the fault current that appears on the screen of the protection equipment. The setting of protection equipment is related to the coordination between protective equipment working in accordance with good requirements between protection equipment, making electricity distribution services remain excellent, securing the work area so that blackouts due to disturbances can be minimized. The Maga recloser and the Construction recloser, which previously rarely worked, have now worked according to their function of securing disturbances in their area.

Keywords : Analysis, Relay Setting Coordination, Fault, Feeder FE6

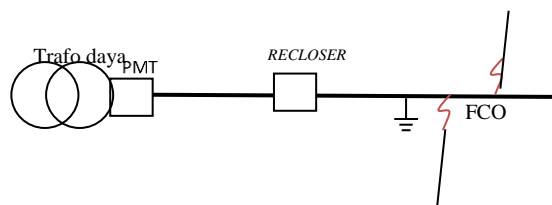
I. PENDAHULUAN

Peralatan proteksi pada jaringan tegangan menengah 20 kV sangat berperan penting dalam memutus gangguan yang dapat berakibat meluasnya daerah padam akibat gangguan. Perhitungan arus gangguan sangat berperan penting terhadap perhitungan setting peralatan proteksi di jaringan, sehingga sesuai dengan prinsip peralatan proteksi harus selektif artinya bisa menyeleksi daerah yang terkena gangguan. Koordinasi peralatan proteksi sangat dibutuhkan agar gangguan yang ada tidak makin meluas dan merugikan makin banyak konsumen. Koordinasi yang baik dari peralatan proteksi juga berguna untuk melindungi peralatan listrik maupun makhluk hidup disekitarnya. PT. PLN (Persero) Rayon Kotanopan disuplai oleh satu penyulang dari Gardu Induk Padang Sidempuan yaitu penyulang PE6. Pada penyulang PE6 yang panjangnya mencapai 107 Kms, terdapat tiga peralatan proteksi utama di jaringan tegangan menengah yaitu, GH Pintu Padang, *Recloser* Perbangunan dan *Recloser* Maga. Kendala yang dihadapi ketiga peralatan proteksi tersebut adalah belum bisa berkoordinasi secara maksimal, sehingga gangguan yang terjadi pada jaringan tegangan menengah tidak bisa *diback up* oleh peralatan proteksi, sehingga daerah padam menjadi semakin luas. Dari permasalahan tersebut, penulis ingin memberikan solusi bagaimana agar antar peralatan proteksi bisa saling berkoordinasi sehingga area padam bisa diminimalkan.

II. TINJAUAN PUSTAKA

A. Sistem Proteksi Jaringan Tegangan Menengah

Sistem proteksi jaringan tegangan menengah atau bisa disebut juga sistem proteksi distribusi adalah serangkaian cara untuk mencegah kerusakan yang lebih luas pada peralatan listrik ketika terjadi gangguan pada Jaringan Tegangan Menengah (JTM). Gangguan yang terjadi bisa akibat dari tegangan lebih (*over voltage*) dan juga akibat arus lebih (*over current*). Sistem proteksi harus dapat bekerja secara kontinyu agar pelayanan penyaluran tenaga listrik ke konsumen tidak terganggu atau bahkan sampai menimbulkan kerusakan.



Gambar 1. Diagram Satu Garis Sistem Proteksi JTM 20kV

Sistem distribusi tenaga listrik dimulai dari trafo daya yang berada Gardu Induk. Sedangkan sistem proteksi pada JTM 20kV dimulai dari Pemutus Tegangan (PMT) di sisi 20kV di gardu induk, selanjutnya pada jaringan tegangan menengah ada beberapa macam sistem proteksi antara lain Penutup balik Otomatis (*recloser*), *Fuse Cut Out* (FCO) dan *Lightning Arrester* (LA).

III. METODE

Rayon Kotanopan disuplai oleh satu penyulang yaitu penyulang PE6 dari trafo daya 3 (TD3) gardu induk Padang Sidempuan. Sementara pada penyulang PE6 terdapat tiga peralatan proteksi JTM yaitu Gardu Hubung Pintu Padang 1 (GHPP1), *Recloser* Perbangunan dan *Recloser* Maga.

A. Data Pendukung

Adapun data-data lapangan yang diperlukan untuk analisis tugas akhir ini adalah sebagai berikut :

Data trafo tenaga yang menyuplai Penyulang PE6 dari Gardu induk Padang Sidempuan adalah :

Merk	= UNINDO
Daya	= 60MVA
Data Hubung Singkat 150kV	= 1760 MVA
Tegangan	= 150/20 KV
Impedansi	= 11,88%
Arus nominal sek	= 1732 Ampere
Hub. Belitan trafo	= YNyn0(d)
NGR	= 40 ohm

B. Data Penyulang 20 kV

Data penyulang 20 KV yang menyuplai Rayon Kotanopan adalah :

Nama penyulang	= PE6 Asal Gardu Induk
	= GI Padang Sidempuan
Panjang penghantar	= 107 kms
Jenis penghantar	=AAAC

Tabel 1. Data Kawat pada Penyulang PE6

No	Jenis Penghantar	Ukuran	Panjang
1	AAAC	150 mm	87
2	AAAC	250 mm	20

C. Data Peralatan Proteksi

Data peralatan serta data setting relai proteksi JTM sebelum dilakukan perhitungan pada penyulang PE6 dapat dijabarkan sebagai berikut :

Tabel 2. Data Peralatan dan Data Setting proteksi Penyulang PE6

SETTING

OCR				GFR			
I >	Curve; tms>	I >>	Curve; tms>>	Io >	Curve; tms>	Io>>	Curve; tms>>
200A	SI; 0,03	1000A	Deft; 00ms	20A	SI 0,03	150A	Deft; 00ms
150A	SI; 0,05	750A	IEC SI; 0,05	20A	SI; 0,05	100A	SI; 0,05
120A	SI; 0,04	600A	SI; 0,04	20A	SI; 0,04	100A	SI; 0,04

Perhitungan masing-masing jenis gangguan dihitung berdasarkan panjang jaringan distribusi 20kV berdasarkan persen jarak, 1%-100% dari panjang penyulang PE6.

B. Menghitung Reaktansi Sumber

Data hubung singkat di sisi 150kV di Gardu Induk Padang Sidempuan diketahui sebesar 1760 MVA, maka dapat dihitung reaktansi sumber (Xs) adalah :

$$X_{sc} = \frac{kV^2}{\frac{MVA}{150^2}}$$

$$X_{sc} = 12,78 \text{ ohm}$$

Sementara di sisi 20kV maka:

$$X_s(\text{sisi } 20kV) = \frac{20^2}{150^2} \cdot X_{sc}$$

$$= \frac{20^2}{150^2} \cdot 12,78$$

$$= 0,2278 \text{ ohm}$$

D. Data Gangguan JTM

Data gangguan yang tercantum dalam tabel berikut adalah data gangguan JTM dari tanggal 27 Mei 2017 sampai 31 Mei 2019.

Tabel 3. Data Gangguan JTM

Tgl	Waktu	Waktu	Waktu	Waktu	Waktu	Waktu	Waktu	Waktu	Waktu	Waktu
27-5-2017	08:51	12:25	12:25	08:51	08:51	08:51	08:51	08:51	08:51	08:51
	08:51	12:25	12:25	08:51	08:51	08:51	08:51	08:51	08:51	08:51
28-5-2017	08:51	12:25	12:25	08:51	08:51	08:51	08:51	08:51	08:51	08:51
29-5-2017	08:51	12:25	12:25	08:51	08:51	08:51	08:51	08:51	08:51	08:51
30-5-2017	08:51	12:25	12:25	08:51	08:51	08:51	08:51	08:51	08:51	08:51
31-5-2017	08:51	12:25	12:25	08:51	08:51	08:51	08:51	08:51	08:51	08:51

C. Menghitung Reaktansi Trafo Daya

Reaktansi urutan positif (X1) dan reaktansi urutan negatif (X2) pada transformator tenaga tercantum pada papan nama (*nameplate*), nilai X1 dan X2 biasanya berkisar antara 10-14%.

Selanjutnya untuk menghitung reaktansi trafo Xt (ohm) menggunakan rumus :

$$X_{t100\%} = \frac{kV^2}{MVA \text{ trafo}}$$

$$X_{t100\%} = \frac{20^2}{60} = 6,667 \text{ ohm}$$

$$X_{t1=2} = X_{t100\%} \cdot X_1$$

$$= 6,667 \cdot 11,88\%$$

$$= 0,792 \text{ ohm}$$

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil penelitian dibahas dan dibandingkan dengan hasil penelitian dari artikel yang diacu, jika mungkin.

A. Perhitungan Nilai Arus Gangguan Hubung Singkat

Seperti telah dijelaskan pada bab sebelumnya perhitungan nilai arus gangguan hubung singkat dalam sistem distribusi ada tiga, yaitu :

1. Gangguan hubung singkat tiga fasa.
2. Gangguan hubung singkat dua fasa.
3. Gangguan hubung singkat satu fasa dengan tanah.

Untuk Transformator tenaga TD3 dengan hubungan belitan YY dan tidak mempunyai belitan delta didalamnya, maka besarnya XT0 berkisar antara 9 s/d 14 x Xt1 dan ditetapkan nilainya 10 x Xt1,

Maka:

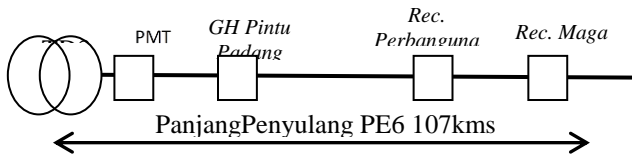
$$X_{t0} = 10 \times X_{t1}$$

$$= 7,92 \text{ ohm}$$

D. Menghitung Impedansi Penyulang

Perhitungan impedansi pada jaringan tegangan menengah meliputi perhitungan impedansi urutan positif, urutan negatif dan urutan nol sesuai dengan jarak per kilometer dari panjang penyulang yang akan dihitung. Nilai impedansi tergantung dari jenis penghantar, luas penampang dan panjang penghantar pada penyulang tersebut.

Panjang penyulang PE6 = 107 kms, dengan panjang penghantar AAAC ukuran 150mm² = 87 kms dan panjang penghantar AAAC ukuran 240 mm² = 20 kms.



Gambar 2. Diagram Satu Garis Penyulang PE6

Tabel 4. Data Impedansi Jaringan Kawat 150 mm²

PE6 (GI-Rec Maga)		
A3C 150 mm ²	R	jX
Z1 ohm/Km	0.2162	0.3305
Zo ohm/Km	0.3631	1.6180
Saluran terpanjang	87 km	
Z1 Saluran (ohm)	18.8094	28.7535
Zo Saluran (ohm)	31.5897	140.7660

Untuk impedansi penyulang dihitung berdasarkan panjang jarak penyulang, dari 1%-100%. Yang pertama adalah impedansi untuk penghantra ukuran 150mm² sepanjang 87 kms, data diambil dari tabel sebelumnya. Impedansi urutan positif sepanjang 87 kms (100%) adalah :

$$\begin{aligned} Z_1 &= Z_1 \text{ (ohm/kms)} \times 87\text{kms} \\ &= 0,2162 + j0,3305 \times 87 \\ &= 18,8094 + j28,7535 \text{ ohm} \end{aligned}$$

Sementara untuk impedansi urutan nol sepanjang 87 kms adalah :

$$\begin{aligned} Z_0 &= Z_0 \text{ (ohm/kms)} \times 87\text{kms} \\ &= 0,3631 + j1,6180 \times 87 \\ &= 31,5897 + j140,7660 \text{ ohm} \end{aligned}$$

Tabel 5. Hasil Perhitungan Impedansi Kawat 150 mm²

	Z1		Z0	
	R	Jx	R	jx
1%	0.1094	0.27535	0.31897	1.40766
5%	0.94047	1.437675	1.579485	7.0383
10%	1.8809400	2.87535	3.15897	14.0766
15%	2.82141	4.313025	4.738455	21.1149
20%	3.76188	5.7507	6.31794	28.1532
25%	4.70235	7.188375	7.897425	35.1915
30%	5.64282	8.62605	9.47691	42.2298
35%	6.58329	10.06373	11.0564	49.2681
40%	7.52376	11.5014	12.63588	56.3064
45%	8.46423	12.93908	14.21537	63.3447
50%	9.4047	14.37675	15.79485	70.383
55%	10.34517	15.81443	17.37434	77.4213
60%	11.28564	17.2521	18.95382	84.4596
65%	12.22611	1.68978	20.53331	91.4979
70%	13.16658	20.12745	22.11279	98.5362
75%	14.10705	21.56513	23.69228	105.5745
80%	15.04752	23.0028	25.27176	112.6128
85%	15.98799	24.44048	26.85125	119.6511
90%	16.92846	25.87815	28.43073	126.6894
95%	17.86893	27.31583	30.01022	133.7277
100%	18.8094	28.7535	31.5897	140.766

Selanjutnya untuk menghitung impedansi per panjang penyulang, dapat menggunakan tabel 5 diatas. Setelah kawat AAAC 150mm² sejauh 87 kms sudah dihitung impedansinya, selanjutnya adalah menghitung impedansi untuk kawat AAAC ukuran 240mm² sejauh 20 kms.

Tabel 6. Data Impedansi Jarinan kawat 240 mm²

PE6 (REC MAGA-UJUNG)		
A3C 240 mm ²	R	jX
Z1 ohm/km	01344	0.3158
Z0 ohm/km	0.2824	1.6034
Saluran Panjang	20 km	
TAMBAHKAN DGN Z1 DAN Z0 A3C 150 mm²		
Z1 Saluran (ohm)	21.4974	35.0695

Z0 Saluran (ohm)	37.2377	172.8340
------------------	---------	----------

Perhitungan pada tabel 6 bisa dijabarkan dengan rumus :

$$\begin{aligned} Z_1 &= Z_1 \text{ (ohm/kms)} \times 20\text{kms} \\ &= 0,1344 + j0,3158 \times 20 \\ &= 2,688 + j6,316 \text{ ohm} \end{aligned}$$

Untuk impedansi urutan nol kawat AAAC ukuran 240mm² sepanjang 20 kms adalah :

$$\begin{aligned} Z_0 &= Z_0 \text{ ohm/kms} \times 20\text{kms} \\ &= 0,2824 + j1,6034 \times 20 \\ &= 5,6448 + j32,068 \text{ ohm} \end{aligned}$$

Setelah mendapat hasil impedansi untuk ukuran 240mm² sepanjang 20 kms, jumlahkan impedansi tersebut dengan hasil impedansi ukuran 150mm² sepanjang 87kms, sehingga nilai impedansi yang muncul adalah impedansi total dari panjang penyulang.

$$\begin{aligned} Z_{1(\text{total})} &= Z_{1(150\text{mm}^2)} + Z_{1(240\text{mm}^2)} \\ &= (18,8094 + j28,7535) + (2,688 + j6,316) \\ &= 21,4974 + j35,0695 \text{ ohm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Z_{0(\text{total})} &= Z_{0(150\text{mm}^2)} + Z_{0(240\text{mm}^2)} \\ &= (31,5897 + j140,7660) + (5,6448 + j32,068) \\ &= 37,2377 + j172,8340 \text{ ohm} \end{aligned}$$

Tabel 7. Impedansi Kawat 240 mm²

Persen Jaringan	Impedansi 240mm ²			
	Z1	Z0	R	Jx
1%	18.83628	28.81666	31.64618	141.0867
5%	19.88427	30.50698	33.45159	149.4077
10%	19.0782	29.3851	32.1545	143.9728
15%	19.2126	29.7009	32.4369	145.5762
20%	19.347	30.0167	32.7193	147.1796
25%	19.4814	30.3325	33.0017	148.783
30%	19.6158	30.6483	33.2841	150.3864
35%	19.7502	30.9641	33.5665	151.9898
40%	19.8846	31.2799	33.8489	153.5932
45%	20.019	31.5957	34.1313	155.1966
50%	20.1534	31.9115	34.4137	156.8
55%	20.2878	32.2273	34.6961	158.4034
60%	20.4222	32.5431	34.9785	160.0068
65%	20.5566	32.8589	35.2609	161.6102
70%	20.691	33.1747	35.5433	163.2136
75%	20.8254	33.4905	35.8257	164.817

80%	20.9598	33.8063	36.1081	166.4204
85%	21.0942	34.1221	36.3905	168.0238
90%	21.2286	34.4379	36.6729	169.6272
95%	21.363	34.7537	36.9553	171.2306
100%	21.497	35.0695	37.2377	172.834

70%	13.16658	21.14672
75%	14.10705	22.5844
80%	15.04752	24.02207
85%	15.98799	25.45975
90%	16.92846	26.89742
95%	17.86893	28.3351
100%	18.8094	29.77277

Rumus perhitungan di atas merupakan perhitungan untuk Z_1 dan Z_0 dengan jarak 100% sementara untuk hasil perhitungan Z_1 dan Z_0 kawat ukuran 240mm^2 per panjang penyulang dari 1%-100%, dapat dijabarkan seperti table 7 diatas.

E. Menghitung Impedansi Ekuivalen Jaringan

Impedansi ekuivalen yang pertama dihitung adalah impedansi ekuivalen untuk kawat ukuran 150 mm². Impedansi ekuivalen jaringan dapat diambil data dari tabel sebelumnya dan dihitung dengan menggunakan rumus :

Urutan positif dan urutan negatif (Z_{1eq} dan Z_{2eq})

$$Z_{1eq}=Z_{2eq}= X_{s(20kv)}+ X_{l1}+ Z_1$$

$$= j0,2278+ j0,792+Z_1(\text{tergantung jarak})$$

$$Z_{1eq}=Z_{2eq(1\%)}= j0,2278+ j0,792+ Z_{1(1\%)}$$

$$= j0,2278+ j0,792+ 0,188094+j0,287525$$

$$= 0,188094+ j1,306808 \text{ ohm}$$

Tabel 8. Perhitungan Impedansi Ekuivalen urutan Positif Kawat 150mm²

150mm ²	Z _{1eq}	
	R	jX
1%	0.188094	1.306808
5%	0.94047	2.456948
10%	1.88094	3.894623
15%	2.82141	5.332298
20%	3.76188	6.769973
25%	4.70235	8.207648
30%	5.64282	9.645323
35%	6.58329	11.083
40%	7.52376	12.52067
45%	8.46423	13.95835
50%	9.4047	15.39602
55%	10.34517	16.8337
60%	11.28564	18.27137
65%	12.22611	19.70905

Berdasarkan hasil perhitungan tabel 8 diatas Z_{1eq} untuk 1% dari panjang jaringan, maka dapat dibuat tabel perhitungan Z_{1eq} dari 1%-100% panjang jaringan seperti tabel diatas. Kemudian menghitung impedansi ekuivalen urutan nol untuk kawat ukuran 150 mm² sepanjang 87 kms, data diambil dari tabel sebelumnya pada kolom Z₀ dengan rumus :

Urutan nol (Z_{0eq})

$$Z_{0eq} = X_{l0}+3.RN+Z_0$$

$$= j7,92+120+Z_0(\text{tergantung jarak})$$

$$Z_{0eq(1\%)} = j7,92+120+ Z_{0(1\%)}$$

$$= j7,92+120+ 0,315897+ j1,40766$$

$$= 120,3159+ j9,32766 \text{ ohm}$$

Tabel 9. Perhitungan Impedansi Ekuivalen Urutan Nol Kawat 150mm²

150mm ²	Z _{0eq}	
	R	jX
1%	120.3159	9.32766
5%	121.5795	14.9583
10%	123.159	21.9966
15%	124.7385	29.0349
20%	126.3179	36.0732
25%	127.8974	43.1115
30%	129.4769	50.1498
35%	131.0564	57.1881
40%	132.6359	64.2264
45%	134.2154	71.2647
50%	135.7949	78.303
55%	137.3743	85.3413
60%	138.9538	92.3796
65%	140.5333	99.4179
70%	142.1128	106.4562
75%	143.6923	113.4945

80%	145.2718	120.5328
85%	146.8512	127.5711
90%	148.4307	134.6094
95%	150.0102	141.6477
100%	151.5897	148.686

Berdasarkan hasil perhitungan tabel diatas, Z0eq untuk 1% dari panjang jaringan, maka dapat dibuat tabel perhitungan Z0eq dari 1%-100% panjang jaringan seperti tabel diatas. Hasil perhitungan impedansi ekuivalen urutan positif, urutan negatif dan urutan nol telah didapat untuk penghantar kawat ukuran 150 mm2. Selanjutnya menghitung impedansi ekuivalen untuk kawat penghantar ukuran 240mm2 sepanjang 20 kms, data diambil dari tabel sebelumnya. Rumus yang digunakan sama seperti impedansi ekuivalen untuk ukuran 150mm2.

$$Z_{1eq} = Z_{2eq} = X_{s(20kv)} + X_{r1} + Z_1$$

$$= j0,2278 + j0,792 + Z_1 \text{ (tergantung jarak)}$$

$$Z_{1eq} = Z_{2eq(100\%)} = j0,2278 + j0,792 + Z_{1(100\%)}$$

$$= j0,2278 + j0,792 + 21,4974 + j35,0695 \text{ ohm}$$

$$= 21,4974 + 36,08877 \text{ ohm}$$

Tabel 10. Perhitungan Impedansi Urutan Positif Kawat 240mm2

Persen Jaringan	Z1eq	
	R	jX
1%	18.83628	29.83593
5%	19.88427	31.52625
10%	19.0782	30.40437
15%	19.2126	30.72017
20%	19.347	31.03597
25%	19.4814	31.35177
30%	19.6158	31.66757
35%	19.7502	31.98337
40%	19.8846	32.29917
45%	20.019	32.61497
50%	20.1534	32.93077
55%	20.2878	33.24657
60%	20.4222	33.56237
65%	20.5566	33.87817
70%	20.691	34.19397
75%	20.8254	34.50977
80%	20.9598	34.82557

85%	21.0942	35.14137
90%	21.2286	35.45717
95%	21.363	35.77297
100%	21.4974	36.08877

Berdasarkan hasil perhitungan table 10 diatas, Z0eq untuk 100% dari panjang jaringan kawat 240mm2, maka dapat dibuat tabel perhitungan Z1eq dari 1%-100% panjang jaringan seperti tabel diatas. Kemudian menghitung impedansi ekuivalen urutan nol untuk kawat ukuran 240mm2 sepanjang 20 kms, data diambil dari tabel sebelumnya pada kolom Z0 dengan rumus :

Urutan nol (Z0eq)

$$Z_{0eq} = X_{r0} + 3.RN + Z_0$$

$$= j7,92 + 120 + Z_0 \text{ (tergantung jarak)}$$

$$Z_{0eq(100\%)} = j7,92 + 120 + Z_{0(100\%)}$$

$$= j7,92 + 120 + 37,2377 + j172,834$$

$$= 157,2377 + j180,754 \text{ ohm}$$

Tabel 11. Impedansi Ekuivalen Urutan Nol Kawat 240mm2

Persen Jaringan	240mm ²	Z0eq
	R	jX
1%	151.6462	149.0067
5%	153.4516	157.3277
10%	152.1545	151.8928
15%	152.4369	153.4962
20%	152.7193	155.0996
25%	153.0017	156.703
30%	153.2841	158.3064
35%	153.5665	159.9098
40%	153.8489	161.5132
45%	154.1313	163.1166
50%	154.4137	164.72
55%	154.6961	166.3234
60%	154.9785	167.9268
65%	155.2609	169.5302
70%	155.5433	171.1336
75%	155.8257	172.737
80%	156.1081	174.3404
85%	156.3905	175.9438

90%	156.6729	177.5472
95%	156.9553	179.1506
100%	157.2377	180.754

				0,05		0,05	
120 A	SI; 0.04	600A	SI; 0.04	20 A	SI; 0.04	100 A	SI; 0.04

Hasil perhitungan impedansi ekivalen urutan positif, urutan negatif dan urutan nol untuk kawat penghantar ukuran 240 mm² sudah diketahui seperti pada tabel sebelumnya diatas.

F. Menghitung Arus Gangguan Hubung Singkat

Seperti telah dijelaskan di atas, bahwa gangguan hubung singkat terbagi menjadi tiga jenis yaitu, gangguan hubung singkat tiga fasa, gangguan hubung singkat dua fasa dan gangguan hubung singkat satu fasa ketanah. Sehingga rumus perhitungan masing-masing arus gangguan pun berbeda.

Perhitungan arus gangguan hubung singkat tiga fasa dapat dihitung dengan rumus :

$$I_{3fh} = V_{ph}/Z_{1eq}$$

V_{ph} yang dipakai adalah tegangan fasa-netral sistem 20kV= 20000/√3 = 11547 volt Sedangkan Z_{1eq} yang sebelumnya berbentuk bilangan imajiner, dirubah dahulu ke bentuk bilangan real.

Misal untuk Z_{1eq} pada penghantar ukuran 150 mm² dengan jarak 1% dari panjang penyulang = 0,18809+j1,30681.

Dirubah kebilangan real sehingga :

$$\begin{aligned} Z_{1eq} &= \sqrt{R^2 + jX^2} \\ &= \sqrt{0,18809^2 + 1,30681^2} \\ &= 1,320274891 \text{ ohm} \end{aligned}$$

Tabel 12. Data Peralatan Proteksi PE6

PRO TEK SI KE-	KODE PROTEKSI	LOKASI	JARAK DARI GI/PANJ ANG PENYUL ANG	MERK
1	GHPP1	PINTU PADANG	25	Schneider
2	REC. PERBANGUNAN	PERBANG UNAN	50	Schneider
3	REC. MAGA	MAGA	75	Cooper F6

Tabel 13. Data Setting Proteksi Sebelum Penelitian

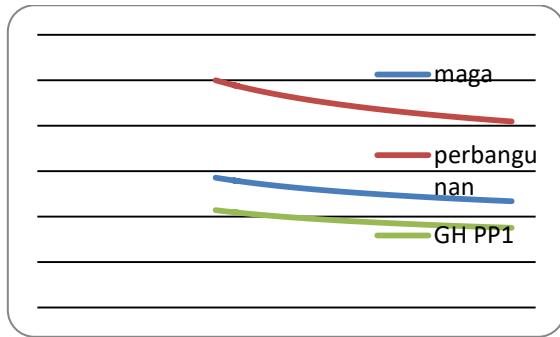
SETTING							
OCR				GFR			
I >	Curve ;	I >>	Curve ;	I0 >	Curve ;	I0 >>	Curve ;
	tms>		tms>		tms>		tms>
200 A	SI; 0,03	1000 A	Def; 00 ms	20 A	SI; 0,03	150 A	Def; 00 ms
150 A	SI; 0,05	750A	IEC SI;	20 A	SI; 0,05	100 A	IEC SI;

Tabel 14. Perhitungan Waktu Trip Relai Proteksi Gangguan 1 Fasa ke Tanah

Arus Gangguan (A)	Rec. Maga (detik)	Rec. Perbangunan (detik)	GH PPI (detik)
107.3824	0.057119	0.099957903	0.042839
108.0837	0.057036	0.09981236	0.042777
108.7932	0.056952	0.099666474	0.042714
109.5111	0.056869	0.099520244	0.042652
110.2374	0.056785	0.099373671	0.042589
110.9724	0.056701	0.099226755	0.042526
111.7161	0.056617	0.099079496	0.042463
112.4686	0.056533	0.098931895	0.042399
113.2302	0.056448	0.098783953	0.042336
114.0009	0.056363	0.098635669	0.042272
114.7809	0.056278	0.098487046	0.042209
115.5703	0.056193	0.098338084	0.042145
116.3693	0.056108	0.098188784	0.042081
117.178	0.056022	0.098039147	0.042017
117.9965	0.055937	0.097889176	0.041953
118.825	0.055851	0.097738871	0.041888
119.6636	0.055765	0.097588235	0.041824
120.5125	0.055678	0.09743727	0.041759
121.3718	0.055592	0.097285977	0.041694
118.1926	0.055916	0.097853456	0.041937
122.9454	0.055436	0.097012834	0.041577
123.1224	0.055419	0.096982421	0.041564
127.4874	0.055001	0.096251411	0.041251
132.1397	0.054577	0.095510235	0.040933
137.1042	0.054148	0.094758854	0.040611
142.4077	0.053713	0.093997313	0.040285
148.0793	0.053272	0.093225775	0.039954
154.1497	0.052825	0.092444548	0.039619
160.6514	0.052374	0.091654137	0.03928
167.6174	0.051917	0.090855298	0.038938
175.0808	0.051457	0.090049115	0.038592
183.0727	0.050993	0.089237088	0.038244
191.6197	0.050526	0.088421253	0.037895
200.7404	0.05006	0.087604323	0.037545
210.4395	0.049594	0.086789866	0.037196
220.7013	0.049133	0.085982504	0.03685
231.4792	0.048679	0.085188153	0.036509

242.684	0.048237	0.084414262	0.036178
254.1689	0.047811	0.083670048	0.035859
265.715	0.04741	0.082966648	0.035557
277.0184	0.047038	0.082317141	0.035279
285.6252	0.046769	0.081846221	0.035077

Dari tabel di atas dapat diubah ke kurva koordinasi waktu *trip* relai sebagai berikut :



Gambar 3. Kurva Perhitungan Waktu Trip Relai Gangguan 1 Fasa ke Tanah

Setelah didapat hasil perhitungan waktu *trip* relai masing-masing peralatan proteksi, dapat dilihat pada grafik bahwa peralatan proteksi belum mencapai koordinasi dimana waktu *trip* pada GH PP1 selalu lebih cepat dari *Recloser*. Perbangunan dan *Recloser* Maga. Dampak dari tidak berkoordinasinya GH PP1 adalah apabila terjadi gangguan di ujung jaringan, maka GH PP1 yang akan *trip* terlebih dahulu, sehingga daerah padam akan meluas dan pelacakan gangguan membutuhkan waktu yang lebih lama. Dari data gangguan JTM tanggal 27-31 Mei 2017 dapat dilihat bahwa GH PP1 selalu *trip* apabila terjadi gangguan, bahkan apabila gangguan di ujung jaringan, GH PP1 lah yang *trip* terlebih dahulu.

G. Perhitungan Waktu Trip Relai Proteksi Setelah Resetting

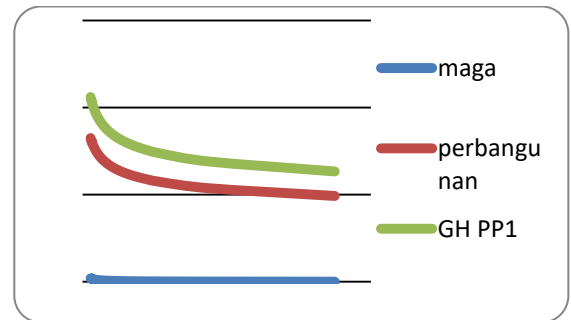
Resetting peralatan proteksi dilakukan manual dengan cara datang ke lokasi peralatan terpasang dan melakukan setting yang disetujui. *Resetting* peralatan proteksi penyalang PE6 dilaksanakan pada tanggal 2 Juni 2019 dengan data sebagai berikut :

Tabel 15. Data *Setting* Peralatan Proteksi Setelah di *Resetting*

SETTING							
OCR				GFR			
I >	Curve ; tms>	I >>	Curve ; tms>	I0 >	Curve ; tms>	I0 >>	Curve ; tms>

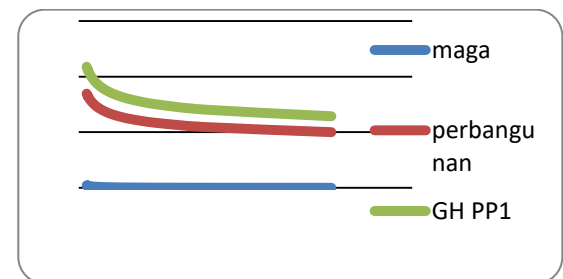
200 A	SI; 0,09	600 A	Deflt; 90 ms	20 A	SI; 0,09	60 A	Deflt; 900 ms
140 A	SI; 0,07	420 A	IEC SI; 0,07	15 A	SI; 0,07	45 A	IEC SI; 0,07
120 A	Kyle 112; 0.04	600 A	Kyle 112; 0.04	12 A	Kyle 112; 0.04	40 A	Kyle 112; 0.04

Hasil perhitungan waktu *trip* relai proteksi setelah *resetting* bisa dijabarkan seperti grafik berikut :



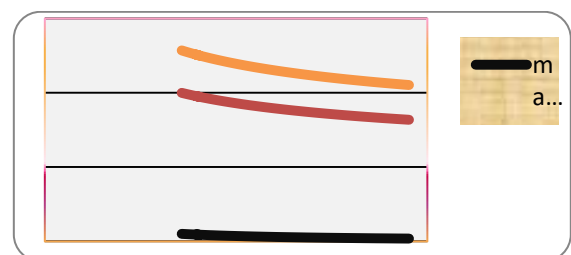
Gambar 4. Kurva Perhitungan Waktu Trip Relai Gangguan 3 Fasa Setelah *Resetting*

Grafik di atas merupakan grafik perhitungan waktu *trip* relai setelah *resetting* untuk gangguan tiga fasa.



Gambar 5. Kurva Perhitungan Waktu Trip relai Gangguan 2 Fasa Setelah *Resetting*

Grafik di atas merupakan grafik perhitungan waktu *trip* relai setelah *resetting* untuk gangguan dua fasa.



Gambar 6. Kurva Perhitungan Waktu Trip Relai gangguan 1 Fasa ke Tanah Setelah *Resetting*

Grafik di atas merupakan grafik perhitungan waktu *trip* relai setelah resetting untuk gangguan satu fasa ke tanah. Berdasarkan hasil perhitungan waktu *trip* relai setelah *resetting*, dapat disimpulkan bahwa peralatan proteksi untuk penyulang PE6 telah dapat berkoordinasi sesuai wilayah kerjanya. Sehingga diharapkan gangguan yang terjadi di lokasi tertentu, dapat diminimalkan daerah padamnya.

V. KESIMPULAN

Reaktansi sumber penyulang PE6 adalah 0,2278 ohm, reaktansi trafo daya adalah 7.92 ohm dan impedansi penyulang adalah $18,8094 + j28,7535$ ohm. Besar gangguan pada penyulang PE6 adalah Untuk gangguan tiga fasa nilai arus gangguannya antara 274,88 sampai dengan 8745,91 ampere. Untuk gangguan dua fasa nilai arus gangguannya antara 238,05 sampai dengan 7574,18 ampere. Untuk gangguan satu fasa ketanah nilai arus gangguannya antara 107,38 sampai dengan 285,65 ampere. Besaran setting relai yang tepat untuk penyulang PE6 adalah sebagai berikut, *Setting Over Current Relai* (OCR) yaitu arus pada angka 200 ampere, menggunakan kurva Standart *Invers* dengan *Time Multiple Settingnya* 0,09, sedangkan arus instannya disetting 600 ampere. *Setting Ground Fault Relai* (GFR) yaitu arus setting di angka 20 ampere, menggunakan kurva Standart *Invers* dengan *Time Multiple Settingnya* 0,09. Sedangkan arus instannya disetting 60 ampere. Dampak yang diperoleh dari hasil perhitungan arus gangguan hubung singkat dan setting peralatan proteksi antara lain: Perhitungan arus gangguan akan memudahkan petugas dalam menentukan titik lokasi gangguan berdasarkan jenis gangguan dan arus gangguan yang muncul pada layar peralatan proteksi. *Setting* peralatan proteksi berkaitan dengan koordinasi antar peralatan proteksi tersebut, apabila *settingnya* sesuai, maka peralatan proteksi dapat bekerja sesuai syarat-syarat peralatan proteksi. Koordinasi yang baik antar peralatan proteksi membuat pelayanan penyaluran tenaga listrik tetap prima, peralatan proteksi akan mengamankan daerah kerjanya sehingga pemadaman akibat gangguan bias diminimalisir. Gangguan setelah resetting peralatan proteksi menjadi berkurang. *Recloser* Maga dan *recloser* Perbangunan yang tadinya jarang bekerja sekarang telah bekerja sesuai fungsinya mengamankan gangguan di wilayahnya.

VI. DAFTAR PUSTAKA

- [1] Affandi, Irfan, 2009, "Analisa Setting Relai Arus Lebih dan Relai Gangguan Tanah pada Penyulang Sadewa di GI Cawang", Universitas Indonesia, Jakarta.
- [2] Cooper, 2008, "Kyle Form 6 Recloser Control", Cooper Power Systems, USA.
- [3] Djiteng Marsudi, 1990, "Operasi Sistem Tenaga Listrik," Institut Sains dan Teknologi Nasional, Jakarta.
- [4] K Pribadi, Wahyudi SN, 2012, "Koordinasi Proteksi Distribusi Pada Sistem Dasar", PT. PLN (Persero) Pusdiklat, Jakarta.
- [5] Kholis, Ikhwannul, 2013, "Analisa Gangguan Hubung Singkat", Universitas Indonesia, Jakarta.
- [6] Schneider, 2008, "N-Series Recloser with ADV C Controller", Schneider Electric, Australia.
- [7] Suhadi, Dkk., 2008, Teknik Distribusi Tenaga Listrik Jilid 3, Depeartemen Pendidikan Nasional, Jakarta.
- [8] Suswanto, Daman, 2009, Sistem Distribusi Tenaga Listrik, Universitas Negeri Padang, Padang.
- [9] William D. Stevenson, Jr.1993"Analisa Sistem Tenaga Listrik edisi ke-empat,"Erlangga, Jakarta.
- [10] I Roza.2018."Analisis Penurunan Cos phi dengan menentukan Kapasitas Kapasitor Bank Pada Pembangkit Tenaga Listrik Pabrik Kelapa Sawit (PKS)" Journal of Electrical and System Control Engineering.
- [11] I Roza.2018"Analisa Pembangkit Pengatur Tegangan Pada Penyulang 20 kV (Aplikasi Gardu Induk PT PLN (Persero) Sei Rotan)" Rekayasa Elektrikal dan Energi (RELE).
- [12] I Roza.2018."Analisis Tegangan Jatuh Lokasi Penempatan Trafo Distribusi 20 kV Untuk Penyaluran Energi" Journal of Electrical and System Control Engineering.
- [13] Indra Roza.2019"Analisa Perbaikan Drop Voltage dengan trafo sisip sistem distribusi JTR di PT. PLN (Persero) Rayon Perbaungan dengan Aplikasi Program Etap" Seminar Nasional Teknik (SEMNASTEK) UISU.
- [14] Indra Roza,Faisal Irsan Pasaribu,Muhammad Fadlan Siregar,Syafriwel,Jhoni Hidayat. 2019. "Analysis of OCR Setting and GFR 20 kV Power Transformer Substation Kualanamu North Sumatra"Journal Online Jaringan Pengajian Seni Bina (JOJAPS) Journal Online Jaringan Pengajian Seni Bina (JOJAPS) Journal Online Jaringan Pengajian Seni Bina (JOJAPS).