

Studi Penambahan OCR dan GFR Gardu Hubung Gondol untuk Mengurangi Gangguan Meluas Penyulang Banyupoh

Asfari Hariz Santoso^{*a)}, Masramdhani Saputra^{a)}, Rachmat Sutjipto^{a)}

(Artikel diterima: Juni 2022, direvisi: Juni 2022)

Abstract: At the Banyupoh Feeder there is a Gondol Hubung Substation, which has 2 outgoing, the first line goes to the Banyuwedang Feeder and the second line goes to Penyabangan. However, because there is no protection on the outgoing side, if there is a disturbance in the first section on one of the outgoing sides, it will cause 1 feeder with a total of 49 transformers to experience a blackout. To overcome this condition, it is necessary to add relays at the substation. After the addition of relays at the substation, the impedance and short-circuit current are recalculated which can be used to determine the timing of the OCR and GFR relays at the new substation for each outgoing. The calculation results are then converted into a curve to determine the coordination of the protection with the existing protection relays on incoming, outgoing and recloser in anticipating disturbances in the first section at the Banyupoh Feeding Substation. After setting the protection relay on the outgoing side of the substation, the outage area due to interference can be minimized. When section 1 of the Banyuwedang Feeder is disturbed, the relay on the outgoing Gondol Substation will work so that the Energy Not Served (ENS) which was previously 40.008 kWh becomes 20.511 kWh. If section 1 of the Feeding Feeder is disturbed, then the relay on the outgoing Substation Hubung Gondol will work so that the ENS which was previously 40.008 kWh becomes 19,497 kWh, so that the amount of energy that is not channeled is reduced by 50% and this makes the service better.

Keywords : Banyupoh Feeder, Substasion, Coordination, OCR, GFR.

1. Pendahuluan

Wilayah Bali Barat khususnya di wilayah Gilimanuk merupakan kawasan tempat wisata alam arena sebagai penunjang kegiatan masyarakat setiap harinya, maka energi listrik yang disalurkan dituntut untuk dapat menjaga kinerja sistem distribusinya. Kinerja sistem distribusinya berupa keandalan. Kendala yang biasa dialami yaitu ketika terjadi gangguan. Gangguan yang dialami biasanya disebabkan oleh faktor eksternal.

PT. PLN (Persero) Unit Layanan Pelanggan (ULP) Gilimanuk memiliki 9 buah penyulang, diantaranya Penyulang Tonasa, Penyulang Kalisada, Penyulang Penyabangan, Penyulang Banyupoh, Penyulang Banyuwedang, Penyulang Gilimanuk, Penyulang Menjangan, Penyulang Melaya, dan Penyulang Palasari. Berdasarkan data, diketahui bahwa Penyulang Banyupoh menempati urutan pertama penyulang dengan jumlah gangguan terbanyak. Di Penyulang Banyupoh terdapat Gardu Hubung Gondol, yang memiliki 2 outgoing yakni line pertama menuju ke arah Penyulang Banyuwedang dan line kedua menuju ke arah Penyabangan. Diketahui pada sisi outgoing Gardu Hubung Gondol tersebut tidak memiliki proteksi. Hal tersebut berdampak besar pada Penyulang Banyupoh. Apabila terjadi gangguan di section pertama di salah satu sisi outgoing, maka akan mengakibatkan 1 penyulang dengan jumlah 49 trafo mengalami pemadaman. Sehingga perlu dilakukan penambahan rele di sisi outgoing Gardu Hubung Gondol. Dengan melakukan penambahan rele tersebut, maka dapat meminimalisir daerah yang padam akibat gangguan eksternal di Penyulang Banyupoh.

Oleh karena itu, pada penelitian ini akan dibahas mengenai perencanaan penambahan rele OCR dan GFR pada outgoing Gardu Hubung Gondol. Sehingga di sini dapat diambil judul "Analisis Penambahan Rele OCR dan GFR di Gardu Hubung Gondol untuk Mengurangi Gangguan Meluas pada Penyulang Banyupoh di ULP Gilimanuk".

2. Tinjauan Pustaka

2.1 Sistem Proteksi (OCR & GFR)

Sistem proteksi bekerja untuk mengamankan gangguan atau menghilangkan kondisi tidak normal pada sistem tenaga listrik. Proteksi tersebut bekerja saat terjadinya gangguan dalam kawasan yang harus dilindunginya (IEC 15-05-025). [1]

Prinsip kerja rele arus lebih adalah apabila rele proteksi mendeteksi arus gangguan yang mengalir melalui penghantar dimana sebelum masuk ke rele arus tersebut ditransformasikan dahulu oleh CT, maka dengan segera kontak trip rele bekerja yang tadinya NO menjadi NC sehingga memberi suplay pada tripping coil. Tripping coil bekerja menggerakkan mekanik PMT sehingga PMT akan terbuka (open). [8]

Arus setting untuk rele OCR baik pada sisi primer maupun sekunder adalah:

$$I_{\text{set(pri)}} = 1,05 - 1,3 \times I_{\text{beban}} \quad (2 - 3)$$

$$I_{\text{set(sek)}} = \frac{I_{\text{set(pri)}}}{\text{Ratio CT}} \quad (2 - 4)$$

Ground Fault Relay atau rele gangguan tanah rele gangguan yang prinsip kerjanya hampir sama dengan rele arus lebih (OCR) namun memiliki perbedaan dalam kegunaannya, bila rele OCR mendeteksi adanya gangguan hubung singkat antar fasa. Rele GFR mendeteksi adanya gangguan hubung singkat fasa ke tanah.

Pada kondisi normal beban seimbang Ir, Is, It sama besar, sehingga pada kawat netral tidak timbul arus dan relai hubung tanah tidak di aliri arus. Bila terjadi ketidakseimbangan arus atau terjadi gangguan hubung singkat ke tanah, maka akan timbul arus urutan nol pada kawat netral, sehingga relai hubung tanah akan bekerja. [3]

Arus setting untuk rele GFR sebagai berikut:

$$I_{\text{set}} = 6\% - 12\% \times I_{\text{fault 1 fasa terkecil}} \quad (2 - 5)$$

2.2 Impedansi

Perhitungan impedansi, terlebih dahulu dihitung dengan

* Korespondensi: asfari.hariz@polinema.ac.id

a) Prodi Teknik Listrik, Jurusan Teknik Elektro, Polinema.
Jalan Soekarno-Hatta No. 9 Malang 65141

persamaan berikut:

$$I_{SC} = \frac{I_{base}}{\%X} \quad (2 - 6)$$

$$MVA_{SC} = \sqrt{3} \times V \times I_{SC} \quad (2 - 7)$$

Dengan menyelesaikan persamaan diatas, maka didapat reaktansi sumber:

$$X_{SC} = \frac{kV^2}{MVA_{SC}} \quad (2 - 8)$$

Dengan menggunakan persamaan diatas, dapat dihitung impedansi urutan positif, negatif, dan nol:

$$X_T (100\%) = \frac{kV^2}{MVA (trafo)} \quad (2 - 9)$$

Dengan menyelesaikan persamaan diatas, maka dapat dihitung impedansi jaringan:

$$Z_{saluran} = Z_{penghantar} \times L \quad (2 - 10)$$

2.3 Impedansi Ekuivalen

Proses perhitungan impedansi ekuivalen ada 3 jenis, yaitu impedansi ekuivalen positif, negatif, dan nol:

$$Z_{1eq} = Z_{2eq} = (\%R_{1jar} + j(X_{SC} + X_T + \%X_{1jar})) \quad (2 - 11)$$

$$Z_{0eq} = ((3R_N + \%R_0) + j(\%X_0)) \quad (2 - 12)$$

2.4 Arus Hubung Singkat

Gangguan hubung singkat yang mungkin terjadi dalam jaringan distribusi:

Gangguan hubung singkat 3 fasa

1. Gangguan hubung singkat 2 fasa
2. Gangguan hubung singkat 1 fasa ke tanah

Arus gangguan hubung singkat dihitung dengan menggunakan persamaan berikut:

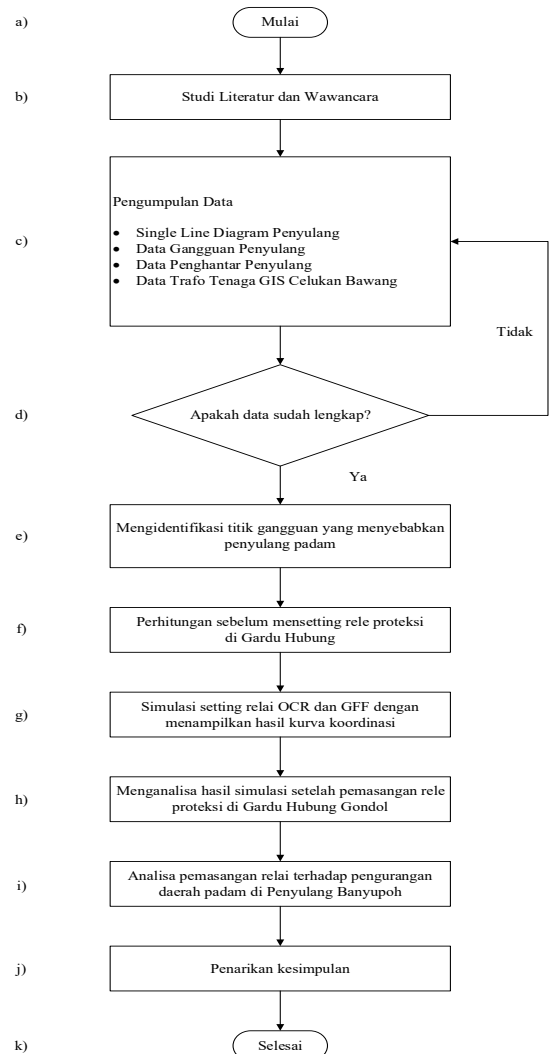
$$I_{Fault\ 3\ fasa} = \frac{V_{fasa-fasa}}{Z_{1eq}} \times \frac{1}{\sqrt{3}} \quad (2 - 13)$$

$$I_{Fault\ 2\ fasa} = \frac{V_{fasa-fasa}}{2 \times Z_{1eq}} \times \frac{\sqrt{3}}{\sqrt{3}} = \frac{\sqrt{3}}{2} \times I_{Fault\ 3\ fasa} \quad (2 - 14)$$

$$I_{Fault\ 1\ fasa} = \frac{3 \times V_{fasa}}{2 \times Z_{1eq} + Z_{0eq}} \quad (2 - 15)$$

3. Metode Penelitian

Pengerjaan penelitian ini dilaksanakan dengan melalui beberapa langkah agar dapat dikerjakan secara efektif dan efisien. Adapun secara garis besar langkahnya ditunjukkan pada Gambar 1 di bawah.



Gambar 1. Diagram Kerja penelitian

4. Pembahasan

4.1 Perhitungan Impedansi

Arus hubung singkat (I_{SC}) pada sisi 150 kV sebesar 14,66 kA, didapat data dari PT. PLN (Persero) UP2D Bali. [9]. Untuk membuktikan I_{SC} sesuai dengan data trafo, maka dicari I_{SC} berdasarkan perhitungan sebagai berikut:

$$I_{SC} = \frac{I_{base}}{\%X} = \frac{\frac{MVA_{base}}{\sqrt{3} \times kV_{base}}}{\%X} = \frac{\frac{60 \times 10^6}{\sqrt{3} \times 150 \times 10^3}}{12,5} = 18,48 \text{ kA}$$

Dari I_{SC} maka diperoleh kapasitas daya hubung singkat (MVA_{SC}) pada sisi 150 kV sebagai berikut:

$$MVA_{SC} = \sqrt{3} \times V \times I_{SC} = \sqrt{3} \times 150 \times 18,48 \text{ kA} = 4801,24 \text{ MVA}$$

Berdasarkan MVA_{SC} dapat dihitung reaktansi sumber X_{SC} di sisi primer 150 kV sebagai berikut:

$$X_{SC} = \frac{kV^2}{MVA_{SC}}$$

$$= \frac{150^2 \text{ kV}}{4801,24 \text{ MVA}} = 4,686 \Omega$$

Daya transformator tenaga antara sisi primer dan sekunder sama, maka reaktansi pada sisi 20 kV sebagai berikut:

$$X_{SC} = \frac{\text{kV}^2 (\text{sisi sekunder trafo})}{\text{kV}^2 (\text{sisi primer trafo})} \times X_{SC} 150 \text{ kV}$$

$$= \frac{20^2}{150^2} \times 4,686 \Omega = 0,083 \Omega$$

Diketahui reaktansi transformator tenaga 12,5% digunakan untuk menghitung reaktansi urutan positif, negatif, dan nol sebagai berikut:

$$X_T (100\%) = \frac{\text{kV}^2}{\text{MVA (trafo)}}$$

$$= \frac{20^2 \text{ kV}}{60 \text{ MVA}} = 6,667 \Omega$$

Transformator tenaga memiliki belitan YNyn, maka nilai reaktansi urutan nol sama dengan nilai reaktansi urutan positifnya. Nilai reaktansi urutan positif, yaitu:

$$X_{T1} = X_{T1} \% \times X_T (100\%)$$

$$= 12,5 \% \times 6,667$$

$$= 0,833375 \Omega$$

Untuk menghitung impedansi penyulang, mengacu pada SPLN 64:1985 tentang Tahanan dan Reaktansi dari Jenis Penghantar. Diketahui bahwa Penyulang Banyupoh memiliki panjang penghantar total sebesar 36,5 kms dengan panjang jaringan dari GIS ke GH sepanjang 19 kms menggunakan jenis penghantar MVTIC 150 mm² berdasarkan persamaan 2-10 dapat didapatkan perhitungan sebagai berikut:

Tabel 1 Impedansi Penyulang Banyupoh dari GIS – GH

	Data (Ω/ km)		19,770 km	
	R	jX	R (Ω)	jX (Ω)
Z ₁ = Z ₂	0,206	j0,014	4,072	j0,277
Z ₀	0,275	j0,029	5,436	j0,573

Sedangkan untuk jaringan dari GH ke ujung-ujung jaringan sebesar 17,045 kms menggunakan jenis penghantar yang berbeda-beda, maka impedansi seri antara penghantar AAAC 150 mm², AAAC-S 150 mm², dan MVTIC 150 mm² sesuai tabel 2 dan 3:

Tabel 2 Impedansi Seri Penyulang Banyupoh Arah Banyuwedang

	R (Ω)	jX (Ω)
Z ₁ = Z ₂	9,44	j3,48
Z ₀	5,849	j17,05

Tabel 3 Impedansi Seri Penyulang Banyupoh Arah Penyabanagan

	R (Ω)	jX (Ω)
Z ₁ = Z ₂	2,948	j1,582
Z ₀	3,69	j7,6

4.2 Perhitungan Impedansi Ekuivalen

Perhitungan impedansi ekuivalen adalah perhitungan besarnya nilai impedansi ekuivalen urutan positif (Z_{1eq}), impedansi ekuivalen urutan negatif (Z_{2eq}), dan impedansi ekuivalen urutan nol (Z_{0eq}) dari titik gangguan sampai ke sumber. Berdasarkan persamaan 2-11 dan 2-12 didapatkan hasil:

1. Impedansi Ekuivalen Positif dan Negatif

- Gardu Induk – Gardu Hubung: 0,917 Ω

- Gardu Hubung ke Banyuwedang: 4,378 Ω

- Gardu Hubung ke Penyabanagan: 4,26 Ω

2. Impedansi Ekuivalen Nol

- Gardu Induk – Gardu Hubung: 120,058 Ω

- Gardu Hubung ke Banyuwedang: 125,497 Ω

- Gardu Hubung ke Penyabanagan: 125,497 Ω

4.3 Perhitungan Arus Gangguan Hubung Singkat

Perhitungan arus gangguan hubung singkat 3 fasa, 2 fasa, dan 1 fasa ke tanah yang dilakukan dimulai pada titik jaringan 1% hingga 100% pada tiap-tiap arah dengan menggunakan persamaan 2-13, 2-14, dan 2-15. Didapatkan hasil seperti pada tabel 1

Tabel 4. Arus Gangguan Hubung Singkat dari GI – GH

L	Arus Gangguan Hubung Singkat		
(%)	3 Fasa	2 Fasa	1 Fasa
1%	12596.62	10908.99	492.24
10%	11264.82	9755.62	491.37
20%	9125.73	7903.11	489.44
30%	7325.68	6344.23	486.97
40%	6002.06	5197.94	484.24
50%	5039.07	4363.96	481.38
60%	4323.21	3744.01	478.47
70%	3776.27	3270.35	475.54
80%	3347.41	2898.94	472.60
90%	3003.36	2600.98	469.68
100%	2721.86	2357.20	466.77

Tabel 5 Arus Gangguan Hubung Singkat dari GH ke Banyuwedang

L	Arus Gangguan Hubung Singkat		
(%)	3 Fasa	2 Fasa	1 Fasa
1%	2705.63	2343,15	495,17
10%	2468.92	2138,15	489,06
20%	2187.44	1894,38	482,89
30%	1927.62	1669,37	476,15
40%	1703.84	1475,57	469,38
50%	1516.20	1313,07	462,70
60%	1359.91	1177,72	456,15
70%	1229.37	1064,67	449,77
80%	1119.59	969,59	443,54
90%	1026.46	888,94	437,47
100%	946.76	819,92	431,56

Tabel 6 Arus Gangguan Hubung Singkat dari GH ke Penyabanagan

L	Arus Gangguan Hubung Singkat		
(%)	3 Fasa	2 Fasa	1 Fasa
1%	2709,83	2346,78	495,26
10%	2616,39	2265,86	486,98
20%	2510,39	2174,06	479,92
30%	2404,55	2082,40	472,65
40%	2300,76	1992,51	465,45
50%	2200,34	1905,55	458,40
60%	2104,15	1822,25	451,54
70%	2012,68	1743,03	444,85
80%	1926,16	1668,10	438,35
90%	1844,62	1597,49	432,03

L (%)	Arus Gangguan Hubung Singkat		
	3 Fasa	2 Fasa	1 Fasa
100%	1767,97	1531,11	425,88

4.4 Perhitungan Setelan Rele OCR

Perhitungan setelan rele arus lebih OCR dimulai dari Gardu Hubung yang ada proteksinya selanjutnya ke *outgoing feeder*, dan *incoming feeder*, sebagai berikut:

1. Nilai setelan arus di GH – arah Penyulang Banyuwedang Setelan arus lebih dapat dihitung menggunakan persamaan 2-3 sebagai berikut:

$$I_{set (pri)} = 1,05 \times I_{beban}$$

$$= 1,05 \times 272 = 285,6 \text{ A}$$

Nilai tersebut adalah nilai primer, untuk menghitung setelan sekunder menggunakan ratio trafo arus yang terpasang menggunakan persamaan 2-4 sebagai berikut:

$$I_{set (sek)} = I_{set (pri)} \times \frac{1}{\text{Ratio CT}}$$

$$= 285,6 \times \frac{1}{300} = 0,95 \text{ A}$$

Untuk menghitung setelan waktu kerja relay menggunakan persamaan 2-1 sebagai berikut:

$$t = \frac{\beta \times Tms}{\left[\left(\frac{I_{Fault}}{I_{set}} \right)^\alpha - 1 \right]}$$

$$= \frac{0,14 \times 0,15}{\left[\left(\frac{2705,63}{285,6} \right)^{0,02} - 1 \right]} = 0,45 \text{ s}$$

2. Nilai setelan arus di GH – arah Penyulang Penyabangan Setelan arus lebih dapat dihitung menggunakan persamaan 2-3 sebagai berikut:

$$I_{set (pri)} = 1,05 \times I_{beban}$$

$$= 1,05 \times 272 = 285,6 \text{ A}$$

Nilai tersebut adalah nilai primer, untuk menghitung setelan sekunder menggunakan ratio trafo arus yang terpasang menggunakan persamaan 2-4 sebagai berikut:

$$I_{set (sek)} = I_{set (pri)} \times \frac{1}{\text{Ratio CT}}$$

$$= 285,6 \times \frac{1}{300} = 0,95 \text{ A}$$

Untuk menghitung setelan waktu kerja relay menggunakan persamaan 2-1 sebagai berikut:

$$t = \frac{\beta \times Tms}{\left[\left(\frac{I_{Fault}}{I_{set}} \right)^\alpha - 1 \right]}$$

$$= \frac{0,14 \times 0,15}{\left[\left(\frac{2709,83}{285,6} \right)^{0,02} - 1 \right]} = 0,45 \text{ s}$$

4.5 Perhitungan Setelan Rele GFR

Perhitungan setelan rele arus lebih GFR dimulai dari Gardu Hubung yang ada proteksinya selanjutnya ke *outgoing feeder*, dan *incoming feeder*, sebagai berikut:

1. Nilai setelan arus di GH – arah Penyulang Banyuwedang Setelan arus lebih dapat dihitung menggunakan persamaan 2-5 sebagai berikut:

$$I_{set (pri)} = 10\% \times 431,56 = 43,156 \text{ A}$$

Nilai tersebut adalah nilai primer, untuk menghitung setelan sekunder menggunakan ratio trafo arus yang terpasang sebagai berikut:

$$I_{set (sek)} = \frac{I_{set (pri)}}{1}$$

$$= \frac{43,15}{300} = 0,14 \text{ A}$$

Untuk menghitung setelan waktu kerja relay menggunakan persamaan 2-1 sebagai berikut:

$$t = \frac{\beta \times Tms}{\left[\left(\frac{I_{Fault}}{I_{set}} \right)^\alpha - 1 \right]}$$

$$= \frac{0,14 \times 0,15}{\left[\left(\frac{431,56}{43,156} \right)^{0,02} - 1 \right]} = 0,45 \text{ s}$$

2. Nilai setelan arus di GH – arah Penyulang Penyabangan Setelan arus lebih dapat dihitung menggunakan persamaan 2-5 sebagai berikut:

$$I_{set (pri)} = 10\% \times 425,88 = 42,588 \text{ A}$$

Nilai tersebut adalah nilai primer, untuk menghitung setelan sekunder menggunakan ratio trafo arus yang terpasang sebagai berikut:

$$I_{set (sek)} = \frac{I_{set (pri)}}{1}$$

$$= \frac{42,588}{300} = 0,14 \text{ A}$$

Untuk menghitung setelan waktu kerja relay menggunakan persamaan 2-1 sebagai berikut:

$$t = \frac{\beta \times Tms}{\left[\left(\frac{I_{Fault}}{I_{set}} \right)^\alpha - 1 \right]}$$

$$= \frac{0,14 \times 0,15}{\left[\left(\frac{425,88}{42,5} \right)^{0,02} - 1 \right]} = 0,45 \text{ s}$$

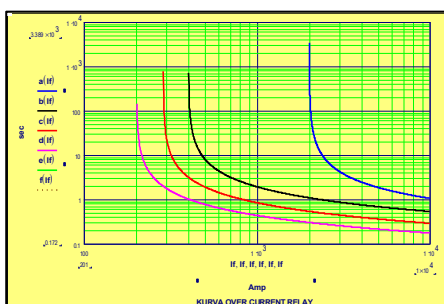
4.6 Koordinasi Waktu Kerja Relay

Berdasarkan perhitungan arus hubung singkat, perhitungan *setting* arus dan *setting* waktu OCR dan GFR pada Gardu Hubung Gondol, maka diperoleh nilai *setting* koordinasi OCR dan GFR berdasarkan perhitungan seperti pada tabel 7 dibawah ini:

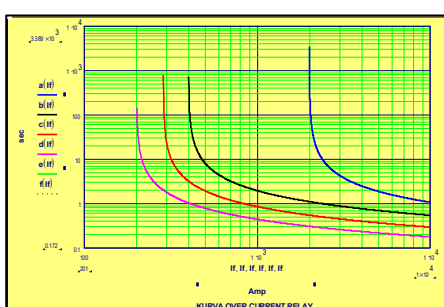
Tabel 7 Koordinasi Waktu Kerja Relay

Incoming Penyulang	I>: 2000 A, tms: 0,242, SI I0: 60 A, tms: 0,456, SI
Outgoing Penyulang	I>: 400 A, tms: 0,25, SI I0: 50 A, tms: 0,2, SI
Gardu Hubung	I>: 285,6 A, tms: 0,15, SI I0: 43,156 A, tms: 0,15, SI
	I>: 285,6 A, tms: 0,15, SI I0: 42,588 A, tms: 0,15, SI
Recloser	I>: 200 A, tms: 0,1, SI; I0: 40 A, tms: 0,1, SI

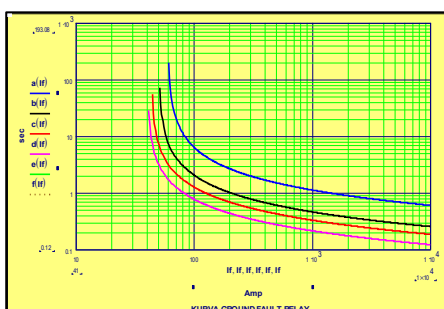
4.7 Analisis Koordinasi Rele Proteksi



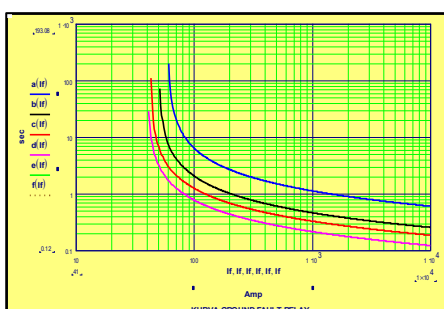
Gambar 2. Kurva Waktu Kerja Relay OCR Arah Banyuwedang



Gambar 3. Kurva Waktu Kerja Relay OCR Arah Penyabangan



Gambar 4. Kurva Waktu Kerja Relay GFR Arah Banyuwedang



Gambar 5. Kurva Waktu Kerja Relay GFR Arah Penyabangan

Berdasarkan kurva waktu kerja relay OCR dan GFR di outgoing Gardu Hubung Gondol membuktikan bahwa koordinasi antara proteksi baik, sehingga dinyatakan oleh kurva bahwa tidak ada garis yang saling berpotongan atau bersinggungan.

4.8 Perbandingan Sebelum dan Sesudah Pemasangan Rele

Perhitungan daya per *section* dihitung dari data pengukuran GTT melalui parameter arus, tegangan, faktor pembebanan dan $\cos \phi$ GTT. Perhitungan daya per *outgoing* pada Penyulang Banyuwedang digunakan sebagai data utama untuk analisis energi yang tidak tersalurkan pada saat terjadi gangguan. Perhitungan energi yang hilang sangat berpengaruh terhadap kontinuitas penyaluran tenaga listrik. Perhitungan energi yang hilang per wilayah didapatkan melalui pejumlahan daya per GTT yang ada pada wilayah tersebut. Penyulang Banyuwedang dengan mengambil contoh perhitungan melalui data pengukuran GTT GR084: Diketahui:

- GTT GR084

$$\text{Daya Semu (S)} = \sqrt{3} \times V \times I \times \text{Faktor beban}$$

$$= \sqrt{3} \times 400 \times 59,67 \times 0,8 = 33,07 \text{ kVA}$$

Untuk mendapatkan daya nyata beban (P) GTT GR084 dapat dihitung melalui persamaan dengan penjelasan sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \text{Daya Semu (P)} &= S \times \cos \phi \\ &= 33,07 \times 0,85 = 28,11 \text{ kW} \end{aligned}$$

Berdasarkan data kami menggunakan rata-rata waktu padam yaitu 0,0117. Perhitungan energi yang hilang sangat berpengaruh terhadap kontinuitas penyaluran tenaga listrik. Perhitungan energi yang hilang per wilayah didapatkan melalui pejumlahan daya per GTT yang ada pada wilayah tersebut.

$$W = P \times t$$

$$W = 28,11 \times 0,05 = 0,33 \text{ kWh}$$

Sehingga saat *section* 1 mengalami gangguan selama 0,05 jam, maka diperoleh energi yang hilang sebanyak 0,330 kWh pada trafo GR084. Berdasarkan persamaan di atas, maka total energi yang tidak tersalurkan sebelum terpasangnya rele adalah dengan menjumlah energi yang hilang pada semua Trafo yang padam di Penyulang Banyuwedang sebanyak 49 buah Trafo adalah 40,008 kWh.

Apabila sisi *outgoing* ke arah Penyulang Banyuwedang yang mengalami pemadaman maka jumlah Trafo yang padam pada sisi ini adalah 27 Trafo dengan daya totalnya sebesar 3840 KVA. Dengan menggunakan jumlah waktu yang sama yakni 0,05 Jam didapatkan nilai 20.551 kWh yang hilang apabila hanya sisi *outgoing* arah Banyuwedang padam.

Apabila sisi *outgoing* ke arah penyulang Penyabangan yang mengalami pemadaman maka jumlah trafo yang padam adalah sebanyak 22 Trafo dengan daya totalnya adalah 3090 KVA. Dengan perbandingan waktu yang sama yakni 0,05 jam padam maka nilai energi yang tidak tersalurkan pada sisi *outgoing* ke arah penyulang Penyabangan adalah sebesar 19.497 kWh.

Tabel 8 Perbandingan Nilai ENS Kondisi Awal dan Sesudah

Lokasi Gangguan	Total ENS Awal (kWh)	Total ENS Sesudah (kWh)
GR 113	40,008	20,511
GR 251	40,008	19,497
GR 196	40,008	19,497

GR113 dan GR251 merupakan salah satu trafo yang berada di sisi *outgoing* arah Penyulang Banyuwedang sedangkan trafo GR196 berada pada sisi *outgoing* arah Penyulang Penyabangan, ketiga titik trafo tersebut merupakan salah satu titik yang pernah terjadi gangguan di Jaringan Penyulang Banyupoh. Dapat diketahui bahwa setelah dilakukan penambahan relai proteksi di Gardu Hubung jumlah energi yang tidak tersalurkan berkurang hingga 50% tentunya mengalami perubahan menjadi lebih baik.

5. Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisis yang telah dilakukan, maka dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut:

1. Sebelum dilakukan penambahan rele proteksi di *outgoing* Gardu Hubung Gondol, Penyulang Banyupoh ketika mengalami gangguan di section pangkal kedua *outgoing* akan mengalami padam 1 penyulang sehingga ke 49 trafo mengalami pemadaman.
2. Nilai setting Over Current Relay (OCR) pada sisi *outgoing* Gardu Hubung Gondol arah Penyulang Banyuwedang, yaitu arus setting ($I>$) = 285,6 A, Time Multiple Setting (TMS) = 0,15, dengan kurva Standart Inverse. Kemudian pada sisi *outgoing* Gardu Hubung Gondol arah Penyulang Penyabangan, yaitu arus setting ($I>$) = 285,6 A, Time Multiple Setting (TMS) = 0,15, dengan kurva Standart Inverse. Nilai setting Ground Fault Relay (GFR) pada sisi *outgoing* Gardu Hubung Gondol arah Penyulang Banyuwedang yaitu arus setting ($I>$) = 43,156 A, Time Multiple Setting (TMS) = 0,15, dengan kurva Standart Inverse. Kemudian pada sisi *outgoing* Gardu Hubung Gondol arah Penyulang Banyuwedang yaitu arus setting ($I>$) = 42,588 A, Time Multiple Setting (TMS) = 0,15 dengan kurva Standart Inverse.
3. Kondisi Penyulang Banyupoh setelah dilakukan penambahan rele proteksi di Gardu Hubung Gondol jumlah energi yang tidak tersalurkan berkurang hingga 50% tentunya mengalami perubahan menjadi lebih baik bagi pelanggan dan juga perusahaan. Dimana ketika section 1 arah Penyulang Banyuwedang mengalami gangguan maka relai pada *outgoing* Gardu Hubung Gondol akan bekerja sehingga ENS yang sebelumnya 40,008 kWh menjadi 20,511 kWh. Kemudian jika section 1 arah Penyulang Penyabangan mengalami gangguan maka rele pada *outgoing* Gardu Hubung Gondol akan bekerja sehingga ENS yang sebelumnya 40,008 kWh menjadi 19,497 kWh.

- [4] Suswanto, Daman. 2009. *Sistem Distribusi Tenaga Listrik*. Padang: Universitas Negeri Padang.
- [5] Taqiyudin Alawiy, Muhammad. 2006. *Proteksi Sistem Tenaga Listrik*. Malang: Universitas Islam Malang.
- [6] Tim PT. PLN (Persero). 2010. *Buku 4 Standar Konstruksi Gardu Distribusi dan Gardu Hubung Tenaga Listrik*. Jakarta Selatan: PT. PLN (Persero).
- [7] Tim PT. PLN (Persero). 2010. *SPLN 64: Petunjuk Pemilihan dan Penggunaan Pelebur pada Sistem Distribusi Tegangan Menengah*. Jakarta Selatan: PT. PLN (Persero).
- [8] Tim PT. PLN (Persero) Pusdiklat. 2007. *Perhitungan Setting Relai Proteksi Trafo Tenaga*. Jakarta Selatan: PT. PLN (Persero).
- [9] Tim PT. PLN (Persero) UP2D Bali. 2014. *Sistem Proteksi APD Bali*. Bali: PT. PLN (Persero).
- [10] Tim PT. PLN (Persero) UPDL Pandaan. 2018. *Koordinasi Sistem Pengaman Distribusi*. Jawa Timur: PT. PLN (Persero).

Daftar Pustaka

- [1] Kustiadi, Dedy. 2015. *Over Current Relay sebagai Proteksi Arus Lebih pada Pemutus Tenaga Outgoing dan Recloser di Penyulang Kalisari 08 Wilayah Kerja PT. PLN (Persero) Area Semarang*. Semarang: Universitas Diponegoro.
- [2] Reforman, Agus. 2016. *Koordinasi Proteksi OCR dan GFR antara sisi Incoming dan Outgoing akibat Gangguan Hubung Singkat di GIS New Senayan*. Jakarta: Sekolah Tinggi Teknik – PLN.
- [3] Suhadi, dkk. 2008. *Teknik Distribusi Tenaga Listrik Jilid 1*. Jakarta: Direktorat Pembinaan Sekolah Menengah Kejuruan.