

ANALISIS TINGKAT KEANDALAN SISTEM DAN PENEMPATAN LETAK RECLOSER PADA PENYULANG KPK05 Gardu Induk Krapyak

Avicena Minang^{1*)}, Mochammad Facta² dan Trias Andromeda³

^{1,2,3}Departemen Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro, Semarang, Indonesia

*) Email: avicenaminang@students.undip.ac.id

Abstrak

Penyulang KPK05 merupakan salah satu penyulang yang terhubung ke Transformator-2 di Gardu Induk Krapyak. Kawasan ini terdapat banyak pepohonan dan curah hujan tinggi, sehingga dapat meningkatkan potensi gangguan. Untuk mengatasi hal ini, penambahan peralatan proteksi seperti *recloser* diperlukan. Penambahan *recloser* dibutuhkan untuk meminimalisir daerah pemadaman listrik sehingga penyaluran tenaga listrik ke pelanggan menjadi lebih handal. Penelitian ini bertujuan untuk menentukan letak *recloser* dan setting koordinasi proteksi agar peralatan proteksi mampu berkoordinasi. Pada penelitian ini dilakukan simulasi aliran daya, hubung singkat, sistem proteksi, dan keandalan sistem menggunakan aplikasi ETAP. Setelah dilakukan perhitungan manual, diperoleh nilai jarak *recloser* 1,44 km sesuai setting OCR dan 1,145 sesuai setting GFR. Berdasarkan hasil simulasi, dapat diketahui bahwa grafik dan urutan kerja peralatan proteksi serta nilai indeks keandalan sudah sesuai dan dapat berkoordinasi dengan baik. Oleh karena itu, hasil perhitungan dan setting koordinasi proteksi ini dapat diimplementasikan pada Penyulang KPK05 Gardu Induk Krapyak.

Kata Kunci: Penyulang, Recloser, Proteksi, Pelanggan, Gardu Induk.

Abstract

KPK05 feeder is one of the feeders connected to Transformer-2 in the Krapyak Substation. In this area, there are many trees and high rainfall which increases the potential for disruptions. To address this issue, the addition of protective equipment such as a recloser is necessary. Additional recloser is needed to minimize the area of power outages so that the distribution of electricity to customers becomes more reliable. This research was conducted to determine the location of the recloser and protection coordination settings to ensure that the protective equipment can coordinate. In this test, involved power flow simulation, short circuit, protection system, and system reliability performed using the ETAP application. After performing manual calculations, the obtained value for the recloser distance is 1.44 km according to the OCR setting and 1.3795 according to the GFR setting. The simulation results indicated that the protection equipment's graph and sequence of operation, and reliability index value are appropriate and can coordinate effectively. Therefore, the results of these calculations and protection coordination settings can be applied to the KPK05 Feeder at Krapyak Substation.

Keywords: Feeder, Recloser, Protection, Customer, Substation.

1. Pendahuluan

Pada pelaksanaan penyaluran tenaga listrik dari Gardu Induk sampai ke pelanggan tidak lepas dari adanya gangguan. Potensi hujan yang terus-menerus dan banyaknya pepohonan di sekitar menjadi salah satu contoh potensi yang dapat menyebabkan terjadinya gangguan. Untuk mengatasi gangguan dan meningkatkan keandalan suatu sistem maka dibutuhkan sistem koordinasi proteksi yang baik guna menjaga mutu dan kontinuitas pelayanan pendistribusian tenaga listrik.

Salah satu gangguan yang sering terjadi pada sistem distribusi tenaga listrik adalah gangguan hubung singkat. Gangguan hubung singkat dapat menyebabkan pemutusan aliran listrik dan menyebabkan pemadaman listrik pada wilayah tertentu. Oleh karena itu, dibutuhkan peralatan proteksi yang memadai guna meminimalkan daerah pemadaman listrik dan mempercepat waktu pemulihan pasokan listrik salah satunya yaitu *recloser*.

Berdasarkan hasil evaluasi kinerja dan keandalan oleh PT PLN (Persero) UP2D Jateng dan DIY, Penyulang KPK05 merupakan salah satu penyulang yang belum memiliki

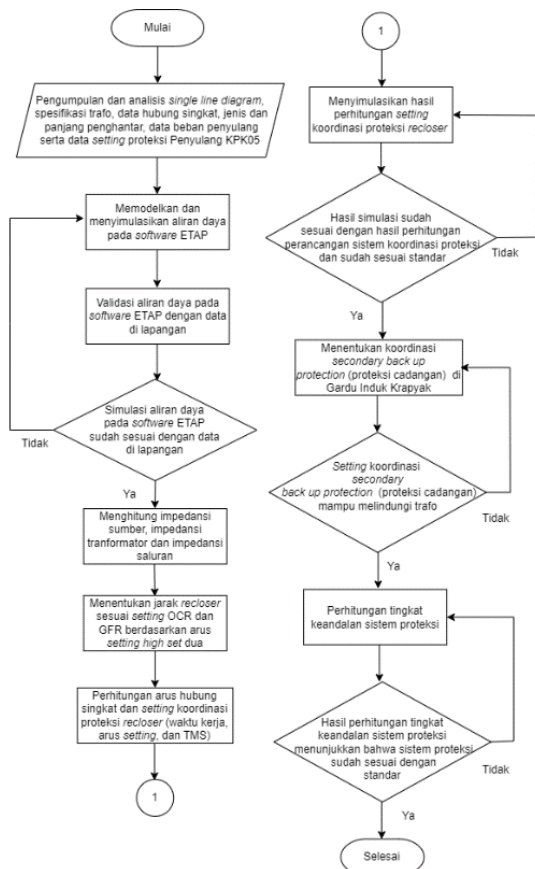
recloser. Sebagai salah satu upaya untuk mengurangi gangguan dan mempersempit zona padam pada kawasan tersebut, direncanakan untuk menambah peralatan proteksi yaitu berupa *recloser* pada Penyulang KPK05.

Penelitian ini bertujuan untuk menentukan letak *recloser* pada Penyulang KPK05 Gardu Induk Krapyak dan melakukan *setting* koordinasi proteksi serta menganalisis tingkat keandalan sistem dengan harapan dapat meminimalisir daerah pemadaman listrik pada Penyulang KPK05 Gardu Induk Krapyak sehingga penyaluran tenaga listrik ke pelanggan menjadi lebih handal dalam artian listrik dapat tersalurkan secara kontinu.

2. Metode

2.1. Tahapan Pelaksanaan Penelitian

Diagram alir pada penelitian yang berjudul “Analisis Tingkat Keandalan Sistem dan Penempatan Letak *Recloser* Berdasarkan Arus Gangguan Hubung Singkat dengan Setting Koordinasi PMT *Outgoing* Pada Penyulang KPK05 Gardu Induk Krapyak” dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Flowchart Penelitian

2.2. Pengumpulan Data

Lokasi yang digunakan untuk penelitian ini dilaksanakan di Penyulang KPK05 Gardu Induk Krapyak yang merupakan wilayah kerja PT PLN ULP Semarang Barat.

Single line diagram Penyulang KPK05 pada software ETAP ditunjukkan pada Gambar 2.



Gambar 2. Single Line Diagram Penyulang KPK05

Data arus hubung singkat sumber 150 kV di Gardu Induk Krapyak didapatkan dari PT.PLN UP2D Jateng dan DIY yang dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Hubung Singkat 150 kV GI Krapyak

Bus	I_{hs} 1 fasa (kA)	I_{hs} 3 Fasa (kA)
1	24,18	26,62

Data spesifikasi Transformator-2 Gardu Induk Krapyak didapatkan dari *nameplate* transformator di Gardu Induk Krapyak. Data spesifikasi trafo dapat dilihat pada Tabel 2 [1].

Tabel 2. Spesifikasi Trafo-2 Gardu Induk Krapyak

Spesifikasi	Data
Daya	60 MVA
Merk	Pauwels Trafo
Nomor Seri	3011150088
Rasio Tegangan (kV)	150 / 20
Arus Nominal	1732 A
Connection Symbol	YNyn0 + d
Impedansi (%)	12,08

Data spesifikasi penghantar AAAC didapatkan dari SPLN 64:1985 yang dapat dilihat pada Tabel 3 [2].

Tabel 3. Spesifikasi Trafo-2 Gardu Induk Krapyak

Luas Penampang (mm ²)	Impedansi Urutan Positif (ohm / KM)	Impedansi Urutan Nol (ohm / KM)
150	0,2162 + j 0,3305	0,3631 + j 1,6180
240	0,1344 + j 0,3158	0,2824 + j 1,6034

Tabel 4. Menunjukkan data beban puncak per bagian pada Penyulang KPK05

Tabel 4. Data Beban Puncak Per Bagian

Titik	Beban (A)
PMT <i>Outgoing</i>	226
<i>Recloser</i>	192
LBS	75

Data Panjang jaringan per bagian pada Penyulang KPK05 dapat dilihat pada Tabel 5.

Tabel 5. Data Beban Puncak Per Bagian

Titik	Panjang Jaringan (kms)
PMT <i>Outgoing</i>	226
LBS	6,4
Pangkal Jaringan	9,3

Indeks keandalan komponen mengacu pada SPLN 59:1985. Indeks keandalan komponen sistem distribusi dapat dilihat pada Tabel 6 [3].

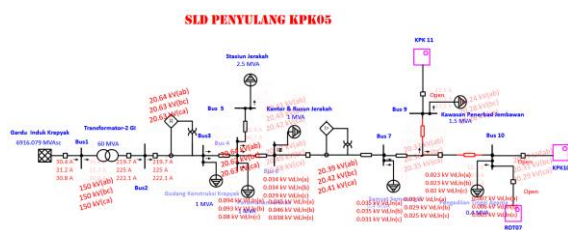
Tabel 6. Indeks Keandalan Komponen

Komponen	Laju kegagalan (/km/tahun)
Saluran udara	0,2
PMT	0,004
LBS	0,003
<i>Sectionalizer</i>	0,003
<i>Recloser</i>	0,005
Penyambung kabel	0,001

3. Hasil dan Pembahasan

3.1. Simulasi Aliran Daya

Simulasi aliran daya beban harian puncak dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Simulasi Aliran Daya Beban Harian Puncak Penyulang KPK05

Gambar 3 menunjukkan beban fasa R, Fasa S dan Fasa T pada PMT *outgoing* secara berturut-turut adalah 219,7 A, 225 A, dan 222,1 A. Jika dibandingkan dengan catatan operasional beban penyulang KPK05 yaitu beban fasa R, fasa S, dan fasa T sebesar 218 A, 226 A, dan 220 A, maka

dapat disimpulkan bahwa hasil simulasi serupa dengan data di lapangan dan memiliki selisih yang kecil.

3.2. Perhitungan Impedansi Sumber

Perhitungan impedansi sumber menggunakan data hubung singkat sumber pada bus 150 kV di Gardu Induk Krapyak sesuai Tabel 1. Data tersebut kemudian dikonversikan ke sisi 20 kV [4].

Impedansi sumber 1 fasa :

$$X_{sc} (20kV) = \frac{kV_2^2}{kV_1^2 \times kA_1 fasa \times \sqrt{3}} \quad (1)$$

$$X_{sc} = \frac{(20)^2}{150 \times 24,18 \times \sqrt{3}} = j0,064$$

Impedansi sumber 3 fasa :

$$X_{sc} (20kV) = \frac{kV_2^2}{kV_1^2 \times kA_3 fasa \times \sqrt{3}} \quad (2)$$

$$X_{sc} = \frac{(20)^2}{150 \times 26,62 \times \sqrt{3}} = j0,058$$

3.3. Perhitungan Impedansi Trafo

Perhitungan impedansi sumber menggunakan data transformator yang didapatkan dari *nameplate* Transformator-2 Gardu Induk Krapyak yang dapat dilihat pada Tabel 2 [4].

$$X_T = Z_T (\%) \frac{kV^2}{MVA} \quad (3)$$

$$X_{T1} = 0,1208 \frac{(20 \times 10^3)^2}{60 \times 10^6} = j0,805$$

Transformator-2 Gardu Induk Krapyak memiliki vektor grup YNyn0, sehingga nilai impedansi urutan nol dan impedansi urutan positif memiliki nilai yang sama [4].

$$X_{T0} = X_{T1} = j0,805$$

3.4. Perhitungan Jarak

Pada perhitungan letak atau jarak *recloser* berdasarkan koordinasi nilai *setting* OCR, persamaan yang digunakan adalah gangguan hubung singkat tiga fasa [5]. Berdasarkan hasil perhitungan untuk menentukan letak *recloser* sesuai dengan koordinasi *high set dua* OCR pada PMT diperoleh nilai jarak sebesar 1,44 km.

Pada perhitungan letak atau jarak *recloser* berdasarkan koordinasi nilai *setting* GFR, persamaan yang digunakan adalah gangguan hubung singkat satu fasa ke tanah [5]. Berdasarkan hasil perhitungan untuk menentukan letak *recloser* sesuai dengan koordinasi *high set dua* GFR pada PMT diperoleh nilai jarak sebesar 1,145 km.

3.5. Perhitungan Impedansi Saluran

Impedansi saluran urutan positif dan negatif :

$$Z = (0,1344 + j0,3158) \times 1,44$$

$$Z = 0,19 + j0,45$$

Impedansi saluran urutan nol:

$$Z = (0,3631 + j1,6180) \times 1,44$$

$$Z = 0,52 + j2,33$$

Impedansi saluran urutan positif dan negatif :

$$Z = (0,1344 + j0,3158) \times 6,4$$

$$Z = 0,86 + j2,02$$

Impedansi saluran urutan nol:

$$Z = (0,3631 + j1,6180) \times 6,4$$

$$Z = 2,327 + j10,366$$

Impedansi saluran urutan positif dan negatif :

$$Z = (0,1344 + j0,3158) \times 9,3$$

$$Z = 1,25 + j2,93$$

Impedansi saluran urutan nol:

$$Z = (0,3631 + j1,6180) \times 9,3$$

$$Z = 3,38 + j15,06$$

3.6. Perhitungan Arus Hubung Singkat

Untuk menghitung arus hubung singkat dapat digunakan persamaan 4, persamaan 5, dan persamaan 6 [4][6].

- Arus Hubung Singkat Tiga Fasa

$$I_{f3fasa} = \frac{E_{ph}}{Z_1 + Z_f} \quad (4)$$
- Arus Hubung Singkat Dua Fasa

$$I_{f2fasa} = \frac{E_{ph} \times \sqrt{3}}{Z_1 + Z_2} \quad (5)$$
- Arus Hubung Singkat Satu Fasa ke Tanah

$$I_{f1fasa} = \frac{E_a}{Z_1 + Z_2 + Z_0 + 3Z_n + 3Z_f} \quad (6)$$

Data hasil perhitungan arus hubung singkat tiga fasa, dua fasa, satu fasa ke tanah dapat dilihat pada Tabel 7.

Tabel 7. Hasil Perhitungan Arus Short Circuit 1 Fasa ke Tanah, 2 Fasa, dan 3 Fasa

Titik	Arus Hubung Singkat (A)		
	3 Fasa	2 Fasa	1 Fasa ke Tanah
Recloser KPK05	8.703,55	7.490,637	807,376
LBS KPK05	3.838,125	3.316,749	1.971,15
Pangkal Jaringan	893,985	2.500,625	211,013

3.7. Perhitungan Setting Proteksi Recloser

- Waktu Kerja Penyulang KPK05 pada Zona Highset
1

- Setting GFR instant highest 1 memiliki nilai I_{set} 2600 A dengan waktu tunda 0,3 s.
 - Setting OCR instant highest 1 memiliki nilai I_{set} 3480 ampere dengan waktu tunda 0,3 s.
2. Waktu Kerja Penyulang KPK05 pada Zona Invers persamaan 7 adalah persamaan yang digunakan untuk menentukan waktu kerja relay [7].
- $$t = \frac{TMS \times \beta}{\left(\left(\frac{I_{SC}}{I_{Set}}\right)^\alpha - 1\right)} \quad (7)$$
- Waktu Kerja OCR

$$t = \frac{0,24 \times 0,14}{\left(\left(\frac{8.703,55}{480}\right)^{0,02} - 1\right)} = 0,569 \text{ s}$$
 - Waktu Kerja GFR

$$t = \frac{0,32 \times 0,14}{\left(\left(\frac{5.807,376}{200}\right)^{0,02} - 1\right)} = 0,6427 \text{ s}$$

Perhitungan setting recloser dilakukan setelah mendapatkan waktu kerja Penyulang pada Bus Recloser [4].

- Menentukan setting OCR dan Inverse

$$I_{SetOCR} = 1,2 \times 192 = 230,4 \text{ A}$$

$$TMS = \frac{(0,269) \times \left(\left(\frac{8.703,55}{230,4}\right)^{0,02} - 1\right)}{0,14} = 0,1447$$
- Menentukan setting GFR dan Inverse

$$I_{SetGFR} = 211,013 \times 50\% = 105,5065 \text{ A}$$

$$TMS = \frac{(0,3427) \times \left(\left(\frac{5.807,376}{105,5065}\right)^{0,02} - 1\right)}{0,14} = 0,2044$$
- Menentukan setting OCR dan GFR secara Instant Highset
 - Nilai OCR instant highset recloser disetel 3316 A dengan waktu tunda 0,1 s
 - Nilai GFR instant highset recloser disetel 1.971,15 A, waktu tunda sebesar 0,1 s.

Data hasil perhitungan setting proteksi recloser dapat dilihat pada Tabel 8.

Tabel 8. Hasil Perhitungan Setting Recloser

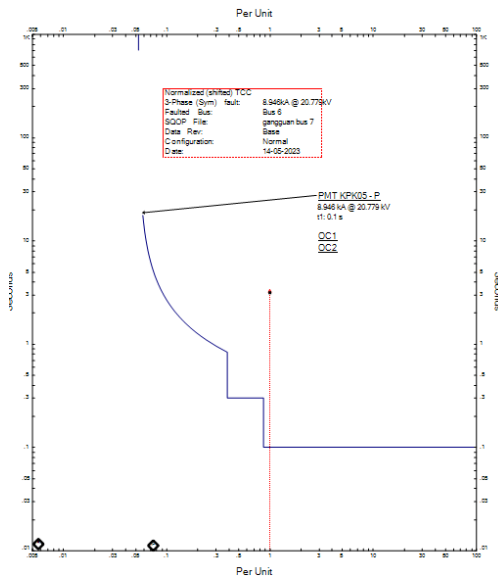
Parameter Setelan	OCR	GFR
I Set (A)	230,4	105,5065
Jenis Grafik	Standard Inverse	Standard Inverse
TMS	0,1441	0,2044
Instant Highset (A)	3.316,749	1.971,15
Jenis Grafik	Instant	Instant
T Set (sekon)	0,1	0,1

3.8. Simulasi Gangguan dan Koordinasi Proteksi

1. Simulasi Gangguan pada Bus *Recloser*
 Gambar 5, Gambar 6 dan Gambar 7 menunjukkan gambar urutan kerja dan grafik waktu kerja relai proteksi serta nilai hubung singkat pada Bus *Recloser* Penyulang KPK05



Gambar 5. Urutan Kerja Relai Proteksi



Gambar 6. Waktu Kerja Relai Proteksi

Short-Circuit Summary Report

3-Phase, LG, LL, LLG Fault Currents

Bus	3-Phase Fault			Line-to-Ground Fault			Line-to-Line Fault			*Line-to-Line-to-Ground				
	ID	kV	I _k	I _g	I _g	I _g	I _k	I _g	I _g	I _k	I _g	I _g		
Bus 6	20.000	8.946	19.783	8.946	6.920	13.302	6.920	7.747	17.132	7.747	8.468	18.727	8.468	8.468

All fault currents are in rms kA. Current *I_g* is calculated using Method C.
 * LLG fault current is the larger of the two faulted line currents.

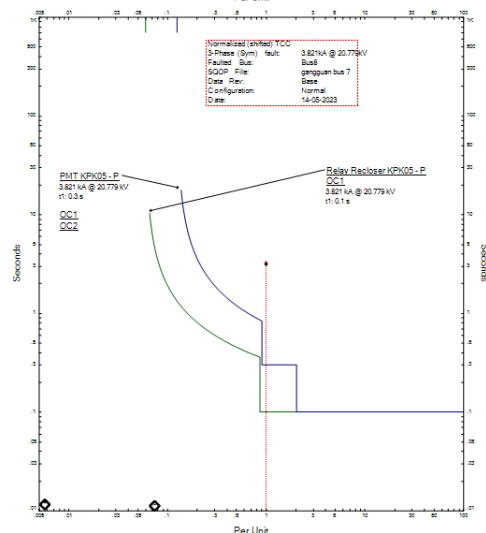
Gambar 7. Nilai Arus Hubung Singkat

Berdasarkan Gambar 5 dan Gambar 6, dapat diketahui saat terjadi gangguan peralatan proteksi yang *trip* adalah PMT *Outgoing* KPK05. *Recloser* tidak muncul atau tidak terjadi *trip* dikarenakan lokasi gangguan berada sebelum *recloser*. Hal ini menunjukkan bahwa urutan kerja koordinasi proteksi sudah sesuai dan berjalan dengan baik.

2. Simulasi Gangguan pada Bus LBS
 Gambar 8, Gambar 9 dan Gambar 10 menunjukkan gambar urutan kerja dan grafik waktu relai proteksi serta nilai hubung singkat pada Bus LBS Penyulang KPK05



Gambar 8. Urutan Kerja Relai Proteksi



Gambar 9. Waktu Kerja Relai Proteksi

Short-Circuit Summary Report

3-Phase, LG, LL, LLG Fault Currents

Bus	3-Phase Fault			Line-to-Ground Fault			Line-to-Line Fault			*Line-to-Line-to-Ground						
	ID	kV	I _k	I _g	I _g	I _g	I _k	I _g	I _g	I _k	I _g	I _g				
Bus 6	20.000	3.821	7.405	3.821	2.490	4.825	2.490	2.490	3.309	6.413	3.309	3.309	3.476	6.737	3.476	3.476

All fault currents are in rms kA. Current *I_g* is calculated using Method C.
 * LLG fault current is the larger of the two faulted line currents.

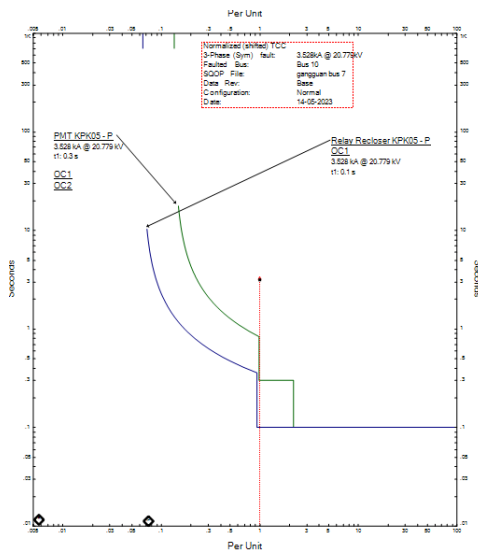
Gambar 10. Nilai Arus Hubung Singkat

Berdasarkan Gambar 8, dapat diketahui ketika terjadi gangguan peralatan proteksi yang *trip* adalah *recloser* KPK05 terlebih dahulu. Dapat dilihat juga pada Gambar 9, bahwa grafik *setting* koordinasi proteksi antara Penyulang KPK05 dan *Recloser* KPK05 tidak terjadi perpotongan. Hal ini menunjukkan bahwa urutan kerja koordinasi proteksi sudah sesuai dan berjalan dengan baik serta membuktikan bahwa hasil perhitungan *setting* proteksi pada *Recloser* KPK05 mampu berkoordinasi dengan Penyulang KPK05.

3. Simulasi Gangguan pada Pangkal Jaringan
 Gambar 11, Gambar 12 dan gambar 13 merupakan gambar urutan kerja dan grafik waktu relai proteksi serta nilai hubung singkat pada Pangkal Jaringan.



Gambar 11. Urutan Kerja Relai Proteksi



Gambar 12. Waktu Kerja Relai Proteksi

Short-Circuit Summary Report

3-Phase, LG, LL, LLG Fault Currents

Bus	ID	kV	3-Phase Fault			Line-to-Ground Fault			Line-to-Line Fault			*Line-to-Line-to-Ground				
			I _k	I _p	I _g	I _k	I _p	I _g	I _k	I _p	I _g	I _k	I _p	I _g		
Bus 10		20.000	3.528	6.794	3.528	0.234	0.451	0.234	3.055	5.884	3.055	3.055	3.204	6.170	3.204	3.204

All fault currents are in rms kA. Current ip is calculated using Method C.
* LIG fault current is the larger of the two faulted line currents.

Gambar 13. Nilai Arus Hubung Singkat

Berdasarkan Gambar 11, dapat diketahui saat terjadi gangguan peralatan proteksi yang *trip* adalah *recloser* KPK05. Dapat dilihat juga pada Gambar 12, bahwa grafik *setting* koordinasi proteksi antara Penyulang KPK05 dan *Recloser* KPK05 tidak terjadi perpotongan. Hal ini menunjukkan bahwa urutan kerja koordinasi proteksi sudah sesuai dan berjalan dengan baik serta membuktikan bahwa hasil perhitungan *setting* proteksi pada *Recloser* KPK05 mampu berkoordinasi dengan Penyulang KPK05.

3.9. Secondary Back Up Protection

Penentuan *setting secondary back up protection* dilakukan setelah mendapatkan hasil *setting* koordinasi proteksi penyulang baik penyulang KPK05, KPK 15, maupun KPK16.

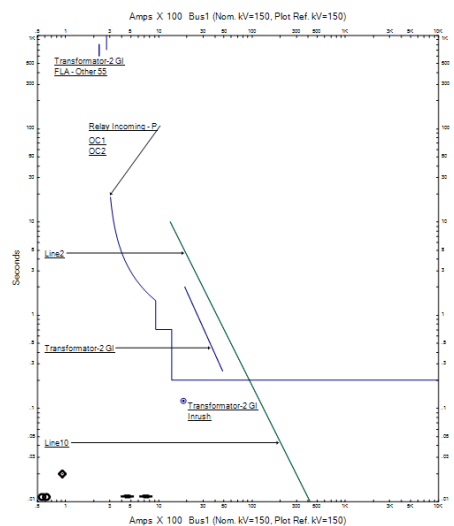
PMT *Incoming* bekerja jika proteksi primer yaitu *recloser* dan proteksi sekunder yaitu PMT *outgoing* gagal bekerja [8]. *Setting* koordinasi proteksi cadangan pada relai *incoming* 02 Gardu Induk Krapyak dapat dilihat pada Tabel 9.

Tabel 9. Setting Proteksi Relai Incoming 02

Zona	Parameter Setting	Overcurrent Relay (OCR)	Ground Fault Relay (GFR)
Time Delay	I Set	2080 A	700 A
	Tipe Kurva	Standard Inverse	Standard Inverse
High Set 1	TMS	0,25	0,44
	I Set	7000 A	5200 A
High Set 2	Tipe Kurva	Definite	Definite
	T Set	0,7 s	0,7 s
High Set 2	I Set	10400 A	7800 A
	Tipe Kurva	Instant	Instant
High Set 2	T Set	0,4 s	0,4 s

3.10. Ketahanan Peralatan

Grafik koordinasi ketahanan peralatan proteksi pada Penyulang KPK05 Gardu Induk Krapyak dapat dilihat pada Gambar 16.



Gambar 16. Grafik Koordinasi Ketahanan Trafo dan Konduktor

Berdasarkan Gambar 16, dapat diketahui bahwa sistem proteksi yang diterapkan sudah benar, hal ini dikarenakan grafik Transformator-2 sudah terlindungi oleh peralatan proteksi yaitu PMT *incoming* 02 yang mana merupakan *secondary backup protection*. Hal ini berarti Transformator-2 dapat menahan arus gangguan. Konduktor juga mampu menahan arus gangguan, hal ini dibuktikan bahwa kurva transformator dan konduktor berada di atas relai PMT *incoming*.

3.11. Estimasi Daya Hilang

Gambar 17 menunjukkan urutan kerja relai proteksi pada Penyulang KPK05 sebelum dipasang *recloser*.



Gambar 17. Urutan Kerja Relai Proteksi Sebelum Dipasang *Recloser*

Berdasarkan Gambar 17, dapat diketahui bahwa ketika terjadi gangguan pada Bus 7 maka PMT *Outgoing* Penyulang KPK05 akan *trip* dan juga setelah dicoba pada Bus yang lain PMT *Outgoing* mengalami *trip* juga. Ketika terjadi *trip* seluruh penyulang dalam kondisi padam, namun beban setelah LBS baik LBS KPK05, LBS KPK10 maupun LBS KLS11 tidak padam karena dapat disuplai oleh penyulang lain dengan kondisi LBS open. Beban yang tidak tersuplai atau dalam kondisi padam sebesar 7,4 MVA, sedangkan beban yang tersuplai sebesar 0,4 MVA.

Gambar 18 menunjukkan urutan kerja relai proteksi pada Penyulang KPK05 setelah dipasang *recloser*.



Gambar 18. Urutan Kerja Relai Proteksi Setelah Dipasang *Recloser*

Berdasarkan Gambar 18, dapat diketahui bahwa ketika terjadi gangguan pada Bus 7 maka *recloser* KPK05 akan *trip* dan juga setelah dicoba pada Bus yang lain di titik setelah *recloser* maka *recloser* juga tetap mengalami *trip*. Ketika terjadi *trip* daerah yang padam hanya lokasi setelah *recloser*. Beban sebelum *recloser* dan beban setelah LBS tidak padam karena dapat disuplai oleh penyulang lain dengan kondisi LBS open. Beban yang tersuplai sebesar 5,9 MVA, sedangkan beban yang padam sebesar 1,9 MVA.

Berdasarkan dua kondisi yang telah dibahas, terdapat perbedaan daya yang hilang. Pada saat *recloser* belum dipasang, daya yang hilang sebesar 7,4 MVA. Pada saat Berdasarkan standar tiap indeks keandalan dengan mengacu pada Data Dukung Indikator Kinerja PLN UP3 Semarang dan SPLN 68-2:1986, Nilai Keandalan untuk indeks ALII sebesar 3 pu, ASAI sebesar 0,9978

recloser sudah dipasang, daya yang hilang sebesar 1,9 MVA. Maka dari itu, dapat disimpulkan bahwa setelah dipasang *recloser* zona padam menjadi lebih kecil dan daya yang hilang dapat diminimalisir ketika terjadi gangguan pada jaringan sehingga keandalan sistem distribusi tenaga listrik meningkat.

Perbandingan estimasi daya hilang sebelum dan sesudah *recloser* dipasang dapat dilihat pada Tabel 10.

Tabel 10. Estimasi Daya yang Hilang Sebelum dan Sesudah *Recloser* Dipasang

Kondisi	Beban yang Padam (MVA)	Beban yang Tersuplai (MVA)
Sebelum dipasang <i>recloser</i>	7,4	0,4
Setelah dipasang <i>recloser</i>	1,9	5,5

3.12. Keandalan Sistem

Nilai keandalan sistem pada Penyulang KPK05 dapat diperoleh dengan menyimulasikan pada perangkat lunak ETAP. Langkah pertama yaitu dengan memasukkan nilai laju kegagalan pada tiap komponen yang nilainya mengacu pada Tabel 6.. Indeks sistem keandalan dan nilai keandalan berdasarkan hasil simulasi ETAP dapat dilihat pada Tabel 11.

Tabel 11. Nilai Indeks Sistem Keandalan

No	Indeks Sistem	Nilai Keandalan
1	ALII	1,63 pu (kVA)
2	ASAI	0,9978 pu
3	ASUI	0,00218 pu
4	CAIDI	10,550 jam/gangguan pelanggan
5	SAIDI	19,1136 jam/pelanggan.Jam
6	SAIFI	1,8116 frekuensi/pelanggan. tahun

Dalam standar nilai keandalan ini, jika hasil simulasi menunjukkan angka di bawah standar, maka dapat dikatakan bahwa sistem tersebut sudah mencapai tingkat keandalan yang lebih baik dari standar yang ditetapkan. Hal ini membuktikan penanganan gangguan yang lebih baik dalam menyuplai pasokan listrik kepada pelanggan. Semakin rendah nilai indeks keandalan, semakin baik keandalan sistem kelistrikan tersebut.

pu, ASUI sebesar 0,00218 pu, CAIDI sebesar 10,550 jam/pelanggan, SAIDI sebesar 19,1136 jam/pelanggan.tahun, dan SAIFI sebesar 2,64 frekuensi/pelanggan.tahun [9][10].

Berdasarkan hasil simulasi didapatkan nilai indeks keandalan ALII sebesar 1,63 pu, ASAI sebesar 0,99 pu, ASUI sebesar 0,05 pu, CAIDI sebesar 11,015 jam/pelanggan, SAIDI sebesar 38,86 jam/pelanggan.tahun, dan SAIFI sebesar 1,8116 frekuensi/pelanggan.tahun.

Nilai indeks keandalan pada Penyulang KPK05 sudah sesuai dengan standar, karena nilainya di bawah target dan standar Data Dukung Indikator Kinerja PLN UP3 Semarang dan SPLN 68-2:1986.

4. Kesimpulan

1. Penentuan letak *recloser* berdasarkan hasil perhitungan sesuai *setting* OCR dan GFR berdasarkan arus *setting high set* dua didapatkan jarak sebesar 1,44 km untuk nilai *setting* OCR dan 1,145 km untuk nilai *setting* GFR
2. Berdasarkan simulasi pada perangkat lunak ETAP, setelah dilakukan *setting* pada seluruh komponen dapat diketahui grafik *setting* koordinasi proteksi antara *recloser* PMT *outgoing* tidak terjadi perpotongan dan urutan kerja relai proteksi yaitu *recloser* terlebih dahulu diikuti dengan PMT *outgoing*. Hal ini sudah sesuai dengan urutan kerja koordinasi proteksi yang diharapkan dan juga sudah membuktikan bahwa hasil perhitungan jarak dan *setting* proteksi *recloser* baru dapat berkoordinasi dengan relai proteksi Penyulang KPK05.
3. Estimasi daya yang hilang sebelum dipasang *recloser* yaitu 7,4 MVA dan setelah dipasang *recloser* yaitu 1,4 MVA. Estimasi daya hilang setelah dipasang *recloser* zona padam menjadi lebih sempit dan daya yang hilang atau pelanggan yang tidak tersuplai dapat diminimalisir ketika terjadi gangguan pada jaringan sehingga keandalan sistem distribusi tenaga listrik meningkat
4. Penentuan *setting* koordinasi proteksi relai *incoming* dilakukan setelah mendapatkan *setting* koordinasi proteksi penyulang baik Penyulang KPK05, Penyulang KPK15, maupun KPK16. Setelah dilakukan simulasi dapat diketahui bahwa tidak terjadi perpotongan grafik koordinasi antar relai dan PMT *Outgoing* lebih dulu *trip* dibandingkan dengan PMT *Incoming*, maka dapat disimpulkan bahwa waktu kerja dari peralatan proteksi sudah sesuai dengan urutan kerja proteksi
5. Berdasarkan simulasi tingkat keandalan sistem, dapat diketahui nilai keandalan sistem pada Penyulang KPK05 Gardu Induk Krapyak setelah dilakukan *setting* koordinasi proteksi didapatkan hasil yaitu nilai indeks keandalan untuk SAIDI, SAIFI, CAIDI, ASAI, ASUI dan EENS di bawah nilai maksimum standar keandalan,

sehingga dapat disimpulkan bahwa nilai keandalan untuk masing-masing indeks keandalan sudah sesuai dengan standar

Referensi

- [1] Perusahaan Listrik Negara. *Nameplate Transformer-2 Gardu Induk Krapyak*. Semarang: Gardu Induk Krapyak, 2016.
- [2] SPLN 64:1985, *Petunjuk Pemilihan dan Penggunaan Pelebur Pada Sistem Distribusi Tegangan Menengah*. Jakarta: Departemen Pertambangan Energi Perusahaan Listrik Negara, 1985.
- [3] SPLN 59:1985, *Keandalan Pada Sistem Distribusi 20 kV dan 6 kV*. Jakarta: Departemen Pertambangan Energi Perusahaan Listrik Negara, 1985
- [4] Kadarisman, Pribadi dan Wahyudi Sarimun, *Proteksi Sistem Distribusi Tegangan Menengah*, Depok: Garamond, 2009.
- [5] Perusahaan Umum Listrik Negara, *Kesepakatan Bersama Pengelolaan Sistem Proteksi Trafo-Penyulang 20 kV*, Jawa Tengah: PT. PLN (Persero) Jawa Tengah dan DIY, 2016.
- [6] Gonen, Turan. *Electric Power Distribution System Engineering Second Edition*. California: CRC Press, 2007.
- [7] IEC 60255-1: 2009, *Measuring Relays and Protection Equipment*, 2009.
- [8] Perusahaan Umum Listrik Negara, *Pola Proteksi Gardu Induk*, PT. PLN (Persero) : Pusat Pendidikan dan Pelatihan.
- [9] PT. PLN (Persero). *Data Dukung Indikator Kinerja PLN UP3 Semarang*. Semarang: PLN UP3 Semarang, 2022.
- [10] SPLN 68-2:1986, *Tingkat Jaminan Sistem Tenaga Listrik Sistem Distribusi*. Jakarta: Departemen Pertambangan Energi Perusahaan Listrik Negara, 1986.