

Analisa Kegagalan Koordinasi Proteksi pada *Setting* Relay OCR Penyulang Semar di PT PLN (Persero) Unit Layanan Pelanggan Bandarjaya

Yenni Afrida¹, Ridho Mahendra², Hamimi³

^{1,2,3} Prodi Teknik Elektro, Fakultas Teknik

Universitas Muhammadiyah Lampung

Jl. H. Zainal Abidin Pagar Alam No.14 Bandar Lampung 35142

E-mail: yenniafrida2016@gmail.com

Abstract

In semar feeder there are two overcurrent protection relays, namely the outgoing feeder and the reconciler poncowati. During July 1st until September 30th, 2019, there had been two failures in coordination of overcurrent relay protection between the two relays. So the secure network zone was affected by the interference network zone. The cause of the failure protection coordination can be determined through the relationship curve between the fault current and the time of each relay. Termination adjustment data was taken from each relay and given inter-phase fault current values along the semar feeder network for obtaining the relay termination time. Based on the semar feeder protection coordination curve, when the short circuit current value reaches 1200A, the two overcurrent relays had the same working time namely 0 second causing failure coordination. The solution of coordination protection can be done by grading a time of 0.084 seconds in the outgoing relay, changing the current setting in the high-set outgoing relay to 2.312,85A or relocating the recloser at a minimum distance 21,113 kms from the outgoing relay.

Kata kunci: *Coordination Protection Curve, High-Set, Recloser, Outgoing*

1. Pendahuluan

Listrik telah menjadi kebutuhan primer di masyarakat. Hal ini didukung oleh perkembangan teknologi pada peralatan-peralatan yang menggunakan listrik sebagai sumber energinya. Dengan peralatan-peralatan listrik tersebut masyarakat menjadi lebih mudah dan nyaman dalam beraktivitas. PT. PLN (Persero) sebagai penyedia listrik harus menjamin kehandalan jaringan listrik untuk menjaga kontinuitas penyaluran tenaga listrik agar terus dapat dinikmati masyarakat.

Dalam menjaga kehandalan jaringan listrik diperlukan suatu rancang bangun proteksi sebagai pengaman hubung singkat dari penyebab gangguan internal maupun eksternal. Peralatan proteksi tersebut akan melakukan minimalisir wilayah padam akibat gangguan dengan cara mengisolir zona jaringan yang mengalami gangguan. Dengan begitu zona jaringan yang lain tidak ikut terdampak dari gangguan tersebut sehingga kehandalan jaringan listrik terjamin. Untuk mewujudkan kondisi tersebut diperlukan koordinasi sistem proteksi yang baik antar relai proteksi pada suatu penyulang. Koordinasi sistem proteksi yang baik ditunjukkan dalam kurva arus dan waktu pemutusan dari setting relai tidak terjadi *overlapping*. Sehingga relai proteksi tidak

bekerja bersamaan atau terjadi kegagalan proteksi.

Pada PT. PLN Unit Layanan Pelanggan (ULP) Bandarjaya telah terjadi dua kali kegagalan koordinasi proteksi pada rentang waktu 1 Juli hingga 30 September 2019 di Penyulang Semar. Sehingga menyebabkan zona jaringan aman ikut terdampak dari zona jaringan yang mengalami gangguan. Hal ini menyebabkan zona padam meluas sehingga lebih banyak masyarakat yang tidak dapat menggunakan listrik. Berdasarkan hal tersebut penulis akan melakukan analisa terhadap setting relai proteksi pada Penyulang Semar agar kegagalan koordinasi proteksi di Penyulang Semar tidak terulang kembali.

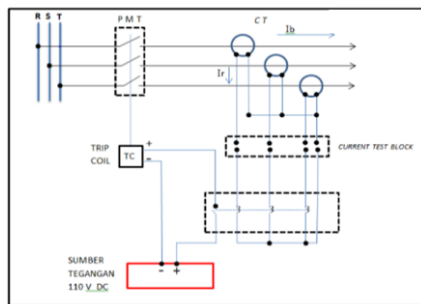
2. Tinjauan Pustaka

2.1. Relai Arus Lebih (OCR)

Relai arus lebih atau yang lebih dikenal dengan OCR (*Over Current Relay*) pada dasarnya mempunyai prinsip kerja mendeteksi adanya arus lebih baik beban lebih atau disebabkan oleh adanya gangguan hubung singkat dua fasa dan hubung singkat tiga fasa. Nilai arus hubung singkat antar fasa cenderung lebih besar hingga satuan kilo Ampere (kA).

Prinsip Kerja relai arus lebih ini bekerja dengan membaca input berupa besaran arus

fasa kemudian membandingkan dengan nilai arus setting, apabila nilai arus yang terbaca oleh relai melebihi nilai setting, maka relai akan mengirim perintah trip (lepas) kepada Pemutus Tenaga (PMT) atau *Circuit Breaker* (CB) sesuai dengan setting waktu dan kurva yang digunakan. Semakin besar arus gangguan yang terjadi, semakin kecil pula tunda waktu untuk pemutusan Pemutus Tenaga (PMT) agar peralatan tidak mengalami kerusakan. Diagram Pengawatan pada relai *Over Current Relay* (OCR) seperti pada gambar 1.



Gambar 1. Pengawatan Relai Arus Lebih (OCR)

Pada kondisi normal, arus beban (I_b) mengalir pada jaringan dan oleh trafo arus besaran arus beban ini ditransformasikan ke besaran sekunder (I_r). Arus sekunder mengalir pada kumparan relai, tetapi karena arus ini masih lebih kecil dari *setting*, maka relai tidak bekerja.

Pada saat terjadi gangguan hubung singkat antar fasa, baik hubung singkat dua fasa dan tiga fasa arus beban akan naik dan menyebabkan arus sekunder juga naik. Apabila arus sekunder naik melebihi nilai *setting* yang telah ditetapkan maka relai akan bekerja dan memberikan perintah trip coil untuk bekerja dan membuka PMT, sehingga jaringan terganggu akan dipisahkan dari jaringan. Arus yang bekerja pada relai terbagi menjadi dua, yaitu :

- 1 Arus pick-up (I_p) adalah nilai arus minimum yang dapat menyebabkan relai bekerja dan menutup kontakannya. Arus ini biasa disebut sebagai arus kerja.
- 2 Arus drop-off (I_d) adalah nilai arus maksimum yang menyebabkan relai berhenti bekerja sehingga kontakannya membuka kembali. Arus ini biasa disebut sebagai arus kembali. (Pramono dkk, 2017:42)

2.2. Gangguan Hubung Singkat

Gangguan merupakan suatu peristiwa yang tidak normal dalam sistem tenaga listrik yang mengakibatkan mengalirnya arus yang tidak seimbang dalam sistem tiga fasa.

Gangguan hubung singkat dibagi menjadi 2 yaitu,

2.2.1 Gangguan Hubung Singkat Simetri

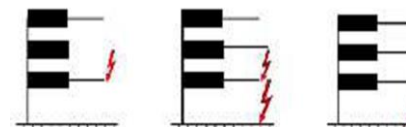
Gangguan hubung singkat simetri merupakan gangguan yang terjadi pada gangguan hubung singkat tiga fasa dan hubung singkat tiga fasa ke tanah. Gangguan hubung singkat simetri jarang sekali terjadi pada sistem kelistrikan, hal ini karena konstruksi penghantar yang terpasang.



Gambar 2. Gangguan Hubung Singkat Simetris

2.5.2 Gangguan Hubung Singkat Tak Simetri

Gangguan tidak simetri ini terjadi sebagai akibat gangguan hubung singkat satu fasa ke tanah, gangguan hubung singkat dua fasa, atau gangguan hubung singkat dua fasa ke tanah. Gangguan-gangguan tidak simetri akan menyebabkan mengalirnya arus tak seimbang dalam sistem. Sehingga untuk analisa gangguan digunakan metode komponen simetri untuk menentukan arus maupun tegangan di semua bagian sistem setelah terjadi gangguan. (Octasari, 2015: 19)



Gambar 3. Gangguan Hubung Singkat Tak Simetris

2.3. Perhitungan Impedansi

2.3.1 Perhitungan Impedansi Sumber

Untuk menghitung impedansi sumber maka data yang diperlukan adalah data hubung singkat pada bus primer trafo. Dengan mengetahui data hubung singkat pada bus primer trafo, maka kapasitas gangguan hubung singkat (MVASC) dapat dihitung menggunakan persamaan berikut,

$$MVA_{SC} = \sqrt{3} \times V \times I_{SC} \quad (1)$$

Kemudian untuk mengetahui impedansi sumber pada bus sekunder trafo adalah,

$$X_s = \frac{kV^2}{MVA_{sc}} \quad (2)$$

Keterangan:

V : Tegangan sisi primer (kV)
 Isc : Data hubung singkat pada bus primer trafo (kA)
 MVA_{sc} : Kapasitas hubung singkat (MVA)
 X_s : Impedansi Sumber pada sisi sekunder (Ohm)

2.3.2 Perhitungan Reaktansi Trafo

Untuk mendapatkan nilai reaktansi trafo tenaga dapat menggunakan persamaan sebagai berikut,

$$X_t (\text{Ohm}) = \frac{kV^2}{MVA (\text{Trafo})} \quad (3)$$

Keterangan:

kV : Tegangan pada bus sekunder trafo (kV)
 MVA : Kapasitas Trafo (MVA)
 X_t : Impedansi Trafo (Ohm)

Hasil perhitungan pada persamaan (3) merupakan Reaktansi trafo pada kondisi 100%. Reaktansi urutan positif tercantum pada papan nama (name plate) pada Trafo, besarnya tergantung dari kapasitas trafo tenaga sendiri dalam satuan persen (%). Sehingga untuk mendapatkan nilai reaktansi urutan positif dapat menggunakan persamaan

$$X_{t1} = X (\%) \times X_t (\text{ohm}) \quad (4)$$

Keterangan:

X_t : Nilai reaktansi trafo dalam kondisi 100% (Ohm)
 X : Impedansi urutan positif Trafo (%)
 X_{t1} : Impedansi urutan positif Trafo (Ohm)

2.3.3 Perhitungan Impedansi Penyulang

Perhitungan impedansi penyulang merupakan impedansi pada penghantar suatu penyulang yang besarnya impedansi tersebut dipengaruhi oleh jenis, panjang, dan luas penampang penghantar tersebut. Untuk saluran bawah tanah penghantar yang digunakan adalah NFA2XSEYBY, sedangkan jenis penghantar untuk saluran kabel udara yang digunakan adalah NFA2XSY-T, dan penghantar saluran udara yang digunakan adalah AAAC.

2.3.4 Perhitungan Impedansi Ekuivalen Jaringan

Perhitungan yang akan dilakukan disini adalah perhitungan besarnya

nilai impedansi positif (Z_{1eq}) dan negatif (Z_{2eq}) dari titik gangguan sampai ke sumber yang meliputi penjumlahan impedansi penyulang dititik gangguan, impedansi trafo, dan impedansi sumber. Karena nilai impedansi ekuivalen urutan positif sama dengan urutan negatif, persamaan impedansi ekuivalen jaringan dapat ditulis sebagai berikut,

$$Z_{1eq} = Z_{2eq} = Z_{s1} + Z_{t1} + Z_{1pyl} \quad (5)$$

Keterangan:

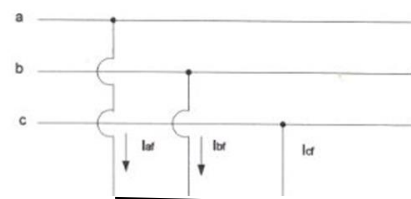
Z_{1eq} : Impedansi ekuivalen urutan positif (Ohm)
 Z_{2eq} : Impedansi ekuivalen urutan negatif (Ohm)
 Z_{s1} : Impedansi sumber urutan positif (Ohm)
 Z_{t1} : Impedansi trafo urutan positif (Ohm)
 Z_{1pyl} : Impedansi penyulang urutan positif dari titik gangguan hingga sumber (Ohm)

2.4. Arus Hubung Singkat Antar Fasa

Arus hubung singkat merupakan arus yang timbul akibat adanya gangguan dalam sistem kelistrikan yang dapat merusak peralatan maupun berbahaya bagi lingkungan sekitar.

2.4.1 Arus Hubung Singkat 3 Fasa

Arus hubung singkat 3 fasa terjadi ketika ketiga fasa dalam suatu saluran listrik saling terhubung singkat. Gangguan hubung singkat 3 fasa termasuk dalam klasifikasi gangguan simetris, sehingga pada sistem seperti ini dapat dianalisa hanya dengan menggunakan komponen urutan positif saja. (Yulisman, 2018:115)



Gambar 4. Diagram Segaris Gangguan Hubung 3 Fasa

Dalam pembahasan gangguan 3 fasa, arus gangguannya dihitung dengan rumus sebagai berikut:

$$I_F = \frac{E_{FASA}}{Z_1} (\text{Ampere}) \quad (5)$$

Keterangan:

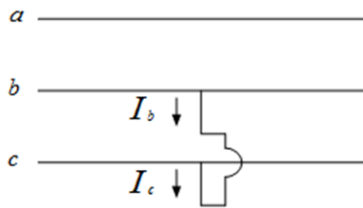
I_F : besar arus yang mengalir pada setiap fasa sewaktu terjadi gangguan hubung singkat di suatu titik di dalam sistem (Amper).

E_{FASA} : besar tegangan tiap fasa terhadap netral sistem (volt).

Z_1 : Impedansi ekuivalen urutan positif.

2.4.2 Arus Hubung Singkat 2 Fasa

Arus hubung singkat 2 fasa merupakan arus gangguan yang muncul sebagai akibat antar fasa dalam suatu saluran listrik terhubung singkat. Gangguan antar fasa ini termasuk gangguan tidak simetris. Sehingga perlu dianalisa menggunakan komponen urutan positif, urutan negatif, dan urutan nol.



Gambar 5. Diagram Segaris Gangguan Hubung 2 Fasa

Pada keadaan seperti Gambar 5, keadaan gangguan dinyatakan dengan persamaan sebagai berikut,

$$V_b = V_c \quad (6)$$

$$I_b = -I_c \quad (7)$$

$$I_a = 0 \quad (8)$$

Komponen simetris tegangan adalah sebagai berikut,

$$\begin{bmatrix} V_{a0} \\ V_{a1} \\ V_{a2} \end{bmatrix} = \frac{1}{3} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a & a^2 \\ 1 & a^2 & a \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_a \\ V_b \\ V_c \end{bmatrix} \quad (9)$$

Dari persamaan (6) maka persamaan (9) menjadi,

$$\begin{bmatrix} V_{a0} \\ V_{a1} \\ V_{a2} \end{bmatrix} = \frac{1}{3} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a & a^2 \\ 1 & a^2 & a \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_a \\ V_b \\ V_c \end{bmatrix} \quad (10)$$

Sehingga diperoleh

$$V_{a1} = V_{a2} \quad (11)$$

Dengan suatu sambungan netral generator ke tanah, maka

$$V_{a0} = 0 \quad (12)$$

Kemudian komponen simetris arusnya adalah sebagai berikut,

$$\begin{bmatrix} I_{a0} \\ I_{a1} \\ I_{a2} \end{bmatrix} = \frac{1}{3} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a & a^2 \\ 1 & a^2 & a \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_a \\ I_b \\ I_c \end{bmatrix} \quad (8)$$

Dari persamaan (7) dan (2.10) maka persamaan (13) menjadi,

$$\begin{bmatrix} I_{a0} \\ I_{a1} \\ I_{a2} \end{bmatrix} = \frac{1}{3} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a & a^2 \\ 1 & a^2 & a \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 0 \\ -I_c \\ I_c \end{bmatrix} \quad (14)$$

Sehingga diperoleh,

$$I_{a0} = 0 \quad (15)$$

$$I_{a2} = -I_{a1} \quad (16)$$

Hubungan antara komponen simetri tegangan dan arus adalah sebagai berikut,

$$\begin{bmatrix} V_{a0} \\ V_{a1} \\ V_{a2} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ E_a \\ 0 \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} Z_0 & 0 & 0 \\ 0 & Z_1 & 0 \\ 0 & 0 & Z_2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_{a0} \\ I_{a1} \\ I_{a2} \end{bmatrix} \quad (17)$$

Dari persamaan (11), (12), (15), dan (16) maka persamaan (17) menjadi,

$$\begin{bmatrix} 0 \\ V_{a1} \\ V_{a2} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ E_a \\ 0 \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} Z_0 & 0 & 0 \\ 0 & Z_1 & 0 \\ 0 & 0 & Z_2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 0 \\ I_{a1} \\ -I_{a1} \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} 0 \\ V_{a1} \\ V_{a2} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ E_a \\ 0 \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} 0 \\ I_{a1}Z_1 \\ -I_{a1}Z_2 \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} 0 \\ V_{a1} \\ V_{a2} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ E_a - (I_{a1}Z_1) \\ 0 - (-I_{a1}Z_2) \end{bmatrix} \quad (18)$$

Apabila persamaan (18) disubsitusikan maka,

$$0 - (-I_{a1}Z_2) = E_a - (I_{a1}Z_1)$$

$$0 = E_a - I_{a1}Z_1 - I_{a1}Z_2$$

$$0 = E_a - I_{a1}(Z_1 + Z_2)$$

$$I_{a1}(Z_1 + Z_2) = E_a$$

$$I_{a1} = \frac{E_a}{(Z_1 + Z_2)} \quad (19)$$

Sehingga arus gangguan dua fasa dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut:

$$I_{2FASA} = \frac{\sqrt{3} \times E_{FASA}}{Z_1 + Z_2} (A) \quad (20)$$

Keterangan:

I_{2FASA} : Besar arus gangguan (Amper).

E_{FASA} : Besar tegangan fasa terhadap netral sistem (Volt).

Z_1 : Impedansi ekuivalen urutan positif (Ohm)

2.5 Time Multiple Setting

Dalam menentukan setting waktu pada relay arus lebih dapat menggunakan karakteristik relai arus lebih. Karakteristik relai arus lebih yang sering digunakan adalah karakteristik kombinasi kurva waktu definite dan inverse. Untuk kurva inverse terdapat empat standar kurva dan persamaannya berdasarkan IEC 60255, namun kurva *Standar Inverse* (SI) merupakan kurva *inverse* yang sering digunakan. Persamaan nilai tms Standard Inverse dapat ditulis sebagai berikut,

$$t_{ms} = \frac{\left(\frac{I_{hs3\phi}}{I_{>primer}}\right)^{0,02} - 1}{0,14} \times t_{set} \quad (21)$$

Keterangan:

$I_{hs3\phi}$: merupakan nilai arus hubung singkat 3 fasa

$I_{>primer}$: merupakan nilai Iset primer pada sisi outgoing

3. Hasil dan Pembahasan

3.1. Data Setting Relay Arus Lebih (OCR)

Data *setting* waktu dan arus pada relay arus lebih (OCR) diambil pada setiap relai proteksi yang terpasang pada Penyulang Semarang. Terdapat dua relay proteksi pada Penyulang Semarang yaitu relay pada *Outgoing* PMT GI Penyulang Semarang dan *Recloser* Poncowati.

Data *setting* waktu dan arus pada relay arus lebih (OCR) pada Penyulang Semarang menggunakan kombinasi kurva *Standard Inverse* (SI) dan *Moment* sebagai berikut,

Tabel 1. Data *Setting* Relay Arus Lebih (OCR) Proteksi Penyulang Semarang.

	Relay <i>Outgoing</i>	<i>Recloser</i> Poncowati
Merk Relay	MICOM 123	PNC Tech
Rasio CT	300/5	1000/1
<i>Setting</i>		
I set (A)	300	250
tms	0,125	0,09
kurva	SI	SI
I set (A)	1200	500
t	0	0
kurva	Moment	Moment

Kurva *Standard Inverse* digunakan pada arus gangguan lebih rendah ketika masih membutuhkan penundaan waktu kerja relay. Sedangkan relay *moment* digunakan untuk segera relai bekerja sebelum peralatan menerima arus gangguan melebihi batas waktu mempunyai.

3.2. Data Trafo Tenaga

Data Trafo tenaga terdapat pada *nameplate* trafo gardu induk yang mempunyai berbagai informasi mengenai trafo tersebut. Dalam perhitungan *setting* relay arus lebih (OCR) dibutuhkan informasi kapasitas trafo dan impedansi *short-circuit* yang digunakan dalam perhitungan impedansi sumber dan impedansi trafo. Berikut adalah data dari *nameplate* trafo tenaga I gardu induk Adijaya.

Tabel 2. Data Trafo Tenaga I Gardu Induk Adijaya.

	High Voltage	Low Voltage	Tertiary Voltage
Rated Power in MVA	24/30	24/30	-
Rated Voltage in kV	150	20	10
Rated Current in A	92.4/115.5	692.8/866	-
Connection	STAR	STAR	-
Line In	1U 1V 1W	2U 2V 2W	3W 3W
Netral In	1N	2N	-
HV/LV Short Circuit Impedance		12,92%	
Year Manufacture		2008	

3.3. Riwayat Gagal Koordinasi Relay

Riwayat gagal koordinasi proteksi berasal dari laporan aktivitas penyulang yang berisi peralatan pemutus yang bekerja, indikasi gangguan, dan arus gangguannya. Riwayat gagal koordinasi proteksi menunjukkan ketidaksesuaian *setting* koordinasi antar peralatan proteksi, sehingga menjadi dasar untuk dilakukan analisa pada *setting* peralatan proteksi relay arus lebih (OCR) tersebut. Berikut riwayat gagal koordinasi peralatan proteksi penyulang Semarang pada 1 Juli 2019 hingga 30 September 2019.

Tabel 3. Riwayat Gagal Koordinasi Proteksi Penyulang Semarang.

Tanggal	Jam	Pemutus	Arus Gangguan (A)	Indikasi Gangguan
27 Agustus 2019	19.36	<i>Outgoing</i> GI	1400	OCR RS
	19.36	<i>Recloser</i> Poncowati		
13 September 2019	14.28	<i>Outgoing</i> GI	1700	OCR RT
	14.28	<i>Recloser</i> Poncowati		

3.4. Kurva Koordinasi Proteksi Relay Arus Lebih (OCR)

Kurva koordinasi proteksi menunjukkan bagaimana koordinasi antar relay proteksi bekerja dalam grafik arus gangguan dan waktu pemutusan gangguan. Data *setting* tiap relay arus lebih (OCR) pada penyulang Semarang dilakukan pemberian nilai arus gangguan bertingkat untuk didapatkan waktu tiap relay bekerja merespon dari arus gangguan tersebut. Berikut pemberian nilai arus gangguan bertingkat terhadap nilai arus *setting* relay arus lebih pada *Outgoing* Penyulang dan *Recloser* Poncowati.

3.4.1 Outgoing Penyulang

Data *setting* pada relay outgoing penyulang nilai Iset adalah 300 A dan Time Multiple Setting (TMS) adalah 0,125 maka,

$$t = \frac{0,14}{\left(\frac{I_{hs}}{300}\right)^{0,02} - 1} \times 0,125$$

Kemudian dari persamaan tersebut, nilai arus hubung singkat (I_{hs}) diberi nilai arus gangguan meningkat terhadap nilai arus *setting* (I_{set}) dengan ketentuan lebih tinggi dari I_{set} namun belum menjangkau *setting* I_{set} moment-nya ($I_{set} < I_{hs} < I_{set}$ moment). Sehingga menghasilkan nilai sebagai berikut.

Tabel 4. Waktu Kerja Kurva *Standart Inverse Outgoing* Penyulang Semar.

Kali I_{set}	Arus Gangguan (I_{hs})	Waktu (s)
1,3	375	3,9125
1,5	450	2,1493
1,8	525	1,5548
2,0	600	1,2536
2,3	675	1,0703
2,5	750	0,9462
2,8	825	0,8562
3,0	900	0,7877
3,3	975	0,7337
3,5	1050	0,6897
3,8	1125	0,6533

Pada Tabel 4 menunjukkan semakin besar arus hubung singkat maka semakin kecil waktu kerja relay. Sedangkan pada kurva *moment* relay arus lebih (OCR) *Outgoing* Penyulang Semar, mempunyai nilai arus *setting* (I_{set}) 1200 A dan waktu kerja 0 detik.

3.4.2 Recloser Poncowati

Pada recloser poncowati *setting* relay arus lebih (OCR) juga menggunakan kurva kombinasi *standart inverse* dan *moment*. Perhitungan waktu kerja pada kurva *standart inverse* (SI) dengan nilai arus *setting* (I_{set}) 250 A dan *Time Multiple Setting* (TMS) 0,09 adalah sebagai berikut.

$$t = \frac{0,14}{\left(\frac{I_{hs}}{250}\right)^{0,02} - 1} \times 0,09$$

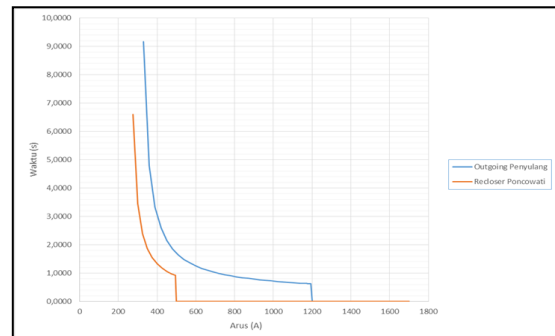
Kemudian dari persamaan tersebut, nilai arus hubung singkat (I_{hs}) diberi nilai meningkat terhadap nilai arus *setting* (I_{set}) dengan ketentuan lebih tinggi dari I_{set} namun belum menjangkau *setting* I_{set} moment-nya ($I_{set} < I_{hs} < I_{set}$ moment). Maka akan menghasilkan waktu kerja kurva *standart inverse* (SI) seperti berikut.

Tabel 5. Waktu Kerja Kurva *Standart Inverse Recloser* Poncowati.

Kali I_{set}	Arus Gangguan (I_{hs})	Waktu (s)
1,1	275	6,6037
1,2	300	3,4491
1,3	325	2,3949
1,4	350	1,8661
1,5	375	1,5475
1,6	400	1,3341
1,7	425	1,1810
1,8	450	1,0655
1,9	475	0,9752

Pada kurva *moment* relay arus lebih *Recloser* Poncowati mempunyai nilai arus *setting* (I_{set}) 500 A dan waktu kerja 0 detik. Sehingga pada seluruh nilai arus hubung singkat (I_{hs}) dengan nilai 500 A dan lebih tinggi mempunyai waktu kerja yang sama yaitu 0 detik.

Dengan mengetahui waktu kerja tiap relay arus lebih (OCR) pada tiap arus gangguan (I_{hs}) berdasarkan perhitungan sebelumnya pada relay *outgoing* penyulang dan *recloser* poncowati, maka kurva koordinasi proteksi pada relay arus lebih (OCR) di penyulang semar adalah sebagai berikut.



Gambar 5. Kurva Koordinasi Proteksi Penyulang Semar.

Berdasarkan grafik diatas pada saat nilai arus hubung singkat (I_{hs}) mencapai 1200 A ke atas, relay arus lebih (OCR) baik pada *outgoing* penyulang maupun *recloser* poncowati mempunyai waktu kerja yang bersamaan yaitu 0 detik.

3.5. Perhitungan Arus Hubung Singkat Antar Fasa pada Penyulang Semar

Perhitungan Arus Hubung Singkat Antar Fasa adalah perhitungan besarnya arus hubung singkat (I_{hs}) pada jarak dari sumber

transformator gardu induk hingga tiap *node* tertentu. Hasil perhitungan arus gangguan pada tiap *node* menjadi salah satu faktor pertimbangan dalam menentukan nilai Iset pada *setting* relay arus lebih (OCR). Nilai kapasitas hubung singkat dari busbar primer transformator 1 Gardu Induk Adijaya berikut,

$$MVA_{SC} = \sqrt{3} \times V \times I_{sc}$$

$$MVA_{SC} = \sqrt{3} \times 150.000 \text{ V} \times 5123 \text{ A}$$

$$MVA_{SC} = 1.330,99 \text{ MVA}$$

Sehingga untuk mendapatkan nilai reaktansi sumber pada sisi sekunder (20 kV) berdasarkan kapasitas hubung singkat adalah sebagai berikut.

$$X_s = \frac{kV^2}{MVA_{sc}}$$

$$X_s = \frac{(20.000)^2}{1.330,99 \times 10^6}$$

$$X_s = j0,3 \text{ Ohm}$$

Setelah mengetahui nilai reaktansi sumber pada sisi sekunder (20 kV), kemudian menghitung nilai reaktansi pada transformator I Gardu Induk Adijaya.

$$X_t (\text{Ohm}) = \frac{kV^2}{MVA (\text{Trafo})}$$

$$X_t (\text{Ohm}) = \frac{(20.000)^2}{30 \cdot 10^6}$$

$$X_t (\text{Ohm}) = 13,33 \text{ Ohm}$$

$$X_{t1} = X (\%) \times X_t (\text{ohm})$$

$$X_{t1} = 12,92\% \times 13,33 \text{ ohm}$$

$$X_{t1} = j1,722 \text{ Ohm}$$

Dengan mengetahui nilai impedansi jaringan, reaktansi sumber, dan reaktansi transformator, maka nilai arus gangguan arus lebih antar tiga fasa pada tiap *node* seperti pada tabel berikut.

Tabel 5. Arus Gangguan Tiga Fasa dari Sumber terhadap *Node*.

Lokasi	$\Sigma R (\Omega)$	$\Sigma X (\Omega)$	$\Sigma X + \Sigma X_t + \Sigma X_s (\Omega)$	Impedansi $Z1=Z2 (\Omega)$	Ihs 3 fasa
GI	0	0	2,022	2,02200	5710,68516
Outgoing SKTM	0,03875	0,03007	2,05207	2,05244	5626,00068
BJ378	0,43894	0,64183	2,663826	2,69975	4277,07020
BJ363	0,95501	1,43073	3,452729	3,58237	3223,28684
CROSS1	1,09402	1,64324	3,665241	3,82503	3018,79940
REC PONCOWATI	1,75408	2,65226	4,674257	4,99254	2312,85082
BJ311	1,79516	2,71505	4,737052	5,06579	2279,40735
BJ002	1,84726	2,79470	4,816703	5,15878	2238,32127
BJ131	1,86434	2,82081	4,842812	5,18928	2225,16625
BJ171	1,88142	2,84692	4,868922	5,21978	2212,16143
BJ270	1,89721	2,87105	4,893048	5,24798	2200,27569
BJ164	1,93893	2,93483	4,956835	5,32256	2169,44503
BJ028	2,05157	3,10703	5,129025	5,52411	2090,29060
MVTIC1-IN	2,20356	3,33937	5,361367	5,79654	1992,04976
MVTIC2-OUT	2,27442	3,34418	5,366183	5,82829	1981,20076
BJ019	2,31766	3,41028	5,432283	5,90604	1955,11934
LBS-TERBANGGI	2,41366	3,55702	5,579025	6,07875	1899,56764
BJ259	2,42166	3,56925	5,591253	6,09315	1895,07838
BJ100	2,74574	4,06467	6,086673	6,77733	1729,28603
TM8-BJ331	2,91762	4,32742	6,34942	6,98768	1652,48113
BJ140	2,94832	4,37435	6,396351	7,04315	1639,46713

BJ314	3,09253	4,59479	6,616795	7,30381	1580,95580
BJ041	3,31089	4,92860	6,9506	7,69888	1499,82854
BJ042	3,72945	5,56845	7,590448	8,45717	1365,35126
BJ201	3,80404	5,68247	7,70447	8,59241	1343,86048
BJ233	3,90133	5,83120	7,853195	8,76887	1316,81826
BJ182	4,06521	6,08171	8,103714	9,06621	1273,63136
BJ043	4,14974	6,21094	8,23294	9,21963	1252,43633
BJ191	4,53285	6,79659	8,818586	9,91535	1164,55846
BJ086	4,61025	6,91490	8,936905	10,05598	1148,27292
BJ185	4,97368	7,47048	9,492475	10,71656	1077,49211
FCO-TERBANGGA	4,99573	7,50419	9,526186	10,75665	1073,47571
BJ072	5,11875	7,69224	9,714241	10,98035	1051,60630
UJUNG	5,16394	7,76132	9,783315	11,06253	1043,79455

Kemudian untuk nilai arus gangguan arus lebih antar dua fasa tiap *node* seperti pada tabel berikut.

Tabel 6. Arus Gangguan Dua Fasa dari Sumber terhadap *Node*.

Lokasi	$\Sigma R (\Omega)$	$\Sigma X (\Omega)$	$\Sigma X + \Sigma X_t + \Sigma X_s (\Omega)$	Impedansi $Z1=Z2 (\Omega)$	Ihs 2 fasa
GI	0	0	2,022	2,02200	4945,59842
Outgoing SKTM	0,03875	0,03007	2,05207	2,05244	4872,25951
BJ378	0,43894	0,64183	2,663826	2,69975	3704,05144
BJ363	0,95501	1,43073	3,452729	3,58237	2791,44829
CROSS1	1,09402	1,64324	3,665241	3,82503	2614,35697
REC PONCOWATI	1,75408	2,65226	4,674257	4,99254	2002,98756
BJ311	1,79516	2,71505	4,737052	5,06579	1974,02467
BJ002	1,84726	2,79470	4,816703	5,15878	1938,44308
BJ131	1,86434	2,82081	4,842812	5,18928	1927,05050
BJ171	1,88142	2,84692	4,868922	5,21978	1915,78800
BJ270	1,89721	2,87105	4,893048	5,24798	1905,49464
BJ164	1,93893	2,93483	4,956835	5,32256	1878,79451
BJ028	2,05157	3,10703	5,129025	5,52411	1810,24476
MVTIC1-IN	2,20356	3,33937	5,361367	5,79654	1725,16569
MVTIC2-OUT	2,27442	3,34418	5,366183	5,82829	1715,77019
BJ019	2,31766	3,41028	5,432283	5,90604	1693,18301
LBS-TERBANGGI	2,41366	3,55702	5,579025	6,07875	1645,07384
BJ259	2,42166	3,56925	5,591253	6,09315	1641,18602
BJ100	2,74574	4,06467	6,086673	6,77733	1497,60563
TM8-BJ331	2,91762	4,32742	6,34942	6,98768	1431,09064
BJ140	2,94832	4,37435	6,396351	7,04315	1419,82019
BJ314	3,09253	4,59479	6,616795	7,30381	1369,14789
BJ041	3,31089	4,92860	6,9506	7,69888	1298,88962
BJ042	3,72945	5,56845	7,590448	8,45717	1182,42888
BJ201	3,80404	5,68247	7,70447	8,59241	1163,81732
BJ233	3,90133	5,83120	7,853195	8,76887	1140,39807
BJ182	4,06521	6,08171	8,103714	9,06621	1102,99712
BJ043	4,14974	6,21094	8,23294	9,21963	1084,64168
BJ191	4,53285	6,79659	8,818586	9,91535	1008,53721
BJ086	4,61025	6,91490	8,936905	10,05598	994,43352
BJ185	4,97368	7,47048	9,492475	10,71656	933,13554
FCO-TERBANGGA	4,99573	7,50419	9,526186	10,75665	929,65723
BJ072	5,11875	7,69224	9,714241	10,98035	910,71777
UJUNG	5,16394	7,76132	9,783315	11,06253	903,95259

3.6. Perbaikan Koordinasi Relay Arus Lebih (OCR) Penyulang Semar

Berdasarkan kurva koordinasi proteksi pada penyulang semar, pada saat nilai arus hubung singkat (Ihs) antar fasa mencapai $\geq 1200 \text{ A}$, relay arus lebih (OCR) baik pada *outgoing* penyulang maupun *recloser* poncowati bekerja dalam waktu yang bersamaan yaitu 0 detik. Sehingga untuk mencegah kegagalan koordinasi proteksi kembali, diperlukan perbaikan koordinasi relay arus lebih pada penyulang semar.

3.6.1 Perbaikan *setting* waktu dengan *grading time*

Grading time memberikan kesempatan relay sebelumnya untuk bekerja memutuskan sirkuit terlebih dahulu dengan mempertimbangkan kemampuan transformator gardu induk menerima arus gangguan. Berdasarkan *International Electrotechnical Commission* (IEC) 60076-5 suatu transformator harus mampu menahan arus gangguan selama dua detik. Namun untuk memperpanjang umur pemakaian peralatan, transformator harus sesingkat mungkin menahan arus gangguan.

Selain itu, *recloser* poncowati memiliki waktu pemutusan maksimal 0,07 detik. Oleh sebab itu nilai *grading time* harus berada diatas nilai tersebut untuk memberikan kesempatan *recloser* melakukan pemutusan sirkuit hingga selesai. Sehingga nilai *grading time* dapat ditulis sebagai berikut.

$$1,2 \times \text{tripping time} < \text{grading time} < (\text{IEC}) 60076-5$$

Perkalian 1,2 merupakan faktor keamanan untuk memastikan peralatan proteksi telah benar-benar bekerja pemutusan sirkuit. Maka nilai *grading time* menjadi,

$$1,2 \times 0,07 \text{ detik} < \text{grading time} < 2 \text{ detik}$$

$$0,084 \text{ detik} < \text{grading time} < 2 \text{ detik}$$

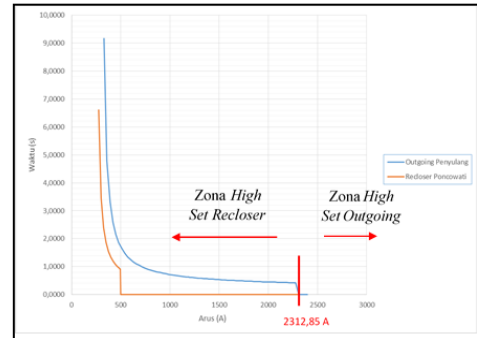
Sehingga nilai *setting* waktu pada *high-set relay outgoing* penyulang saat arus hubung singkat >1200 A harus diberi nilai diatas 0,084 detik namun dibawah 2 detik.

3.6.2 Perbaikan *Setting* Arus Relay Arus Lebih

Perbaikan *setting* arus dilakukan dengan menggeser nilai Iset pada *high-set relay outgoing* penyulang dengan mempertimbangkan nilai arus hubung singkat tiga fasa (I_{hs}) pada titik *recloser* poncowati berada. Sehingga relay *outgoing* penyulang hanya memiliki zona pemutusan arus gangguan hingga titik *recloser* berada. Berdasarkan perhitungan arus gangguan tiga fasa pada tabel 4.14, nilai arus gangguan tiga fasa pada titik *recloser* poncowati adalah 2.312,85A. Sehingga nilai Iset pada *high-set relay outgoing* penyulang adalah

2.312,85A dengan waktu tetap 0 detik.

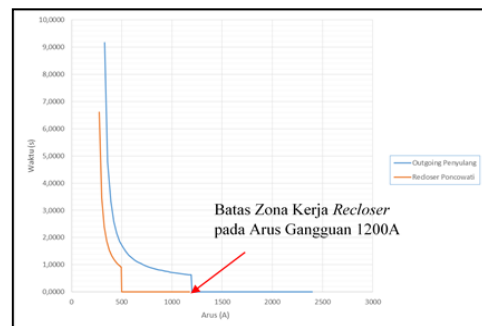
Kurva koordinasi proteksi penyulang semar setelah dilakukan perubahan nilai *setting high-set* arus gangguan (Iset) seperti pada grafik dibawah ini.



Gambar 6. Kurva Koordinasi Proteksi Penyulang Semar dengan Pembagian Zona Arus Pemutusan.

3.6.3 Pemindahan Lokasi *Recloser*

Pemindahan lokasi *recloser* dilakukan apabila tidak dilakukan *re-setting* pada kedua relay OCR. *Recloser* dipindahkan pada titik lokasi dimana nilai arus gangguan (I_{hs}) tiga fasa tidak lebih dari Iset relay *outgoing* penyulang, yaitu 1200 A. Sehingga berdasarkan perhitungan arus gangguan tiga fasa sebelumnya pada tabel 4.14, lokasi minimal *recloser* berada pada gardu BJ191 yaitu 21,113 kms dari gardu induk atau lebih jauh. Sehingga kurva koordinasi proteksi penyulang semar setelah dilakukan pemindahan *recloser* tanpa melakukan perubahan nilai *setting* tiap relay dapat ditunjukkan pada grafik berikut dibawah ini.



Gambar 7. Kurva Koordinasi Proteksi Penyulang Semar dengan Pemindahan Lokasi *Recloser*.

4. Kesimpulan

Setelah dari pembahasan sebelumnya, maka kesimpulan dari penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Penyebab kegagalan koordinasi proteksi *Over Current Relay* (OCR) pada penyulang semar adalah terjadi overlapping setting OCR ketika arus hubung singkat (I_{hs}) mencapai 1200A keatas, relay *outgoing* penyulang dan *recloser* poncowati bekerja bersamaan pada *setting high-set* 0 detik.
 2. Koordinasi sistem proteksi saat terjadi kegagalan koordinasi proteksi di Penyulang Semar pada tanggal 27 Agustus 2019 mempunyai arus hubung singkat 1400 A dan pada tanggal 13 September 2019 mempunyai arus hubung singkat 1700 A. Karena kedua arus gangguan tersebut melebihi 1200 A, maka terjadi *overlapping* dengan relay *outgoing* penyulang dan *recloser* poncowati bekerja bersamaan memutus sirkit jaringan listrik.
 3. Upaya perbaikan koordinasi proteksi relay *Over Current Relay* (OCR) pada Penyulang Semar dapat dilakukan dengan memberikan *grading time* pada *high-set* relay *outgoing* penyulang selama minimal 0,84s, atau membagi zona kerja berdasarkan arus pemutusan pada *high-set* relay *outgoing* penyulang sebesar 2312,85 A, atau dengan merelokasi *recloser* pada jarak 21,113 km dari relay *outgoing* penyulang.
- Pratiwi, Zakiyah. 2015. *Simulasi Koordinasi Proteksi Gangguan Over Current dan Ground Fault Listrik 3 Fasa Berbasis Arduino Mega*. Semarang
- PT PLN P3B JAWA-BALI. 2012. *Pengelolaan Sistem Proteksi Trafo-Penyulang 20 kV*. Jakarta: PT PLN (Persero).
- Sarimun, Wahyudi. 2012. *Proteksi Sistem Distribusi Tenaga Listrik*. Bekasi: Garamond.
- Sudirman, Soemarto. 1965. *Petunjuk Pemilihan dan Penggunaan Pelebur pada Sitem Distribusi Tegangan Menengah*. PT. PLN (Persero)
- Yelfianhar, Ichwan. 2009. *Studi Hubung singkat untuk Gangguan Dua Fasa Antar Saluran pada Sistem Tenaga Listrik*. Padang
- Yulisman. 2018. *Analisis Arus Gangguan Hubung Singkat Sistem Tenaga Listrik Dengan Aplikasi Matlab*. Padang Panjang.
- Zuhal. 1977. *Dasar Tenaga Listrik*. Bandung : Institut Teknologi Bandung (ITB).

Daftar Pustaka

- Alawiy, Muhammad Taqiyyuddin. 2006. *Proteksi Sistem Tenaga Listrik*. Malang: Fakultas Teknik Elektro Universitas Islam.
- Alimuddin. TT. *Analisa Kerja Recloser untuk Memproteksi Jaringan Distribusi di PT. PLN (Persero) Area Sorong*. Sorong
- Kadarisman, Pribadi dan Wahyudi Sarimun. 2005. *Proteksi Sistem Distribusi*. Jakarta.
- Nova, Tirza dan Syahril. 2013. *Perhitungan Setting Rele OCR dan GFR pada Sistem Interkoneksi Diesel Generator di Perusahaan "X"*. Bandung
- Octasari, Ika Permata. 2015. *Relai GFR Proteksi Gangguan Hubung Singkat Fasa Tanah Outgoing PWI 07 Kubikel 20 KV Trafo II GI Purwodadi 150/ 20 kV*. Semarang.
- Pramono, Wahyu Budi. dkk. TT. *Perancangan Koordinasi Relai Arus Lebih pada Gardu Induk dengan Jaringan Distribusi Spindle*. Yogyakarta.