

KOORDINASI PENEMPATAN PERALATAN PROTEKSI JENIS ARUS LEBIH (OCR) DAN PELEBUR (FCO) DI PENYULANG DI GARDU INDUK 150/20 KV GEJAYAN YOGYAKARTA

Adha Priantiku Anrada¹, Ramadoni Syahputra¹, M. Yusvin Mustar¹

Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Yogyakarta
Jl. Lingkar Barat, Tamantirto, Kasihan, Bantul, Yogyakarta 55183, Telp: 0274-387656 Fax. 0274-387646
Email: adha.priantiku@gmail.com

Abstract

Substation is a part of a power system that is responsible for collecting electrical energy from a power and distribution it to some consumers. There is a very important aspect in a system of electrical energy distribution process. One part of the substation that have function to deliver electricity to the consumer is a cubicle that has a many installed electrical protection devices such as overcurrent relay (OCR) and fuse cut out (FCO) which is function to detect the current of electrical noise in network system. OCR and FCO will disconnect the Short Circuit on the network by sensing the current of Short Circuit that passes the current setting limit with the working time of the trip which has also been specified. In this final project will be analyzed the coordination placement of OCR and FCO protection tool in Gejayan substation which simulated menggunakan software ETAP 12.6 by comparing the OCR and FCO setting value which is mounted on the cubicle on the outgoing side of Gejayan Substation with the value setting that calculated manually. When a short circuit happens, OCR will work by commanding the Circuit Breaker to open with a faster time than FCO. When the OCR is damaged or malfunctioned, the FCO as a backup security will work to protect the equipment on the network.

KEYWORDS: *Overcurrent Relay, Fuse Cut Out, ETAP 12.6, Distribution System*

I. PENDAHULUAN

Pemakaian energi listrik dari tahun ke tahun semakin meningkat dikarenakan listrik merupakan kebutuhan primer dari berbagai aspek kegiatan manusia dimana kualitas pendistribusian listrik menjadi hal yang sangat penting. Dengan meningkatnya kebutuhan energi listrik yang sejalan dengan pertumbuhan penduduk, maka meningkat pula persentase terjadinya gangguan-gangguan terhadap penyaluran listrik ke beban.

Salah satu sektor penyedia energi listrik di Indonesia adalah PT. PLN (Persero). Dimana PT. PLN (Persero) merupakan perusahaan yang berperan besar dalam pendistribusian energi listrik di berbagai aspek kegiatan industri yang berpengaruh terhadap pertumbuhan dan pergerakan laju ekonomi di Indonesia. Maka, aspek-aspek seperti kualitas, kontinuitas, keandalan penyediaan listrik di suatu pembangkit listrik

menjadi aspek yang perlu diperhatikan untuk memenuhi kebutuhan konsumen listrik di berbagai daerah dan untuk kelancaran berbagai proses produksi industri yang ada di Indonesia

Sistem distribusi yang dikelola oleh PT. PLN (Persero) distribusi Jawa Tengah & DIY memiliki andil yang sangat besar dalam memberikan jaminan kualitas penyaluran energi listrik sehingga memenuhi standar, baik secara teknis maupun non teknis kepada konsumen. Kualitas penyaluran secara teknik ditunjukkan dengan parameter-parameter besaran tegangan, frekuensi, faktor daya dan indeks keandalan yang memenuhi standar yang berlaku secara nasional maupun internasional.

Gardu Induk Gejayan merupakan bagian dari sistem penyaluran listrik di beberapa daerah di Yogyakarta. Pemakaian listrik di wilayah Gejayan semakin meningkat dari tahun ke tahun. Hal ini disebabkan oleh pertumbuhan penduduk dan bangunan-bangunan baru seperti hotel dan usaha-

usaha perumahan yang membutuhkan pasokan listrik yang besar. Dengan meningkatnya pemakaian di daerah Gejayan tersebut maka kemungkinan-kemungkinan gangguan yang menyebabkan penyaluran listrik ke konsumen juga akan semakin meningkat. Untuk memperkecil terjadinya gangguan, diperlukan peralatan proteksi. Adanya suatu gangguan pada sistem tenaga listrik, dapat menyebabkan kerusakan pada peralatan listrik maupun komponen-komponen pendukungnya. Jika terjadi gangguan maka kinerja peralatan akan terganggu dan kontinuitas dalam pendistribusian listrik juga akan terganggu.

Di suatu sistem kelistrikan, proteksi diharapkan dapat bekerja dengan baik ketika terjadi gangguan dan dapat menjaga sistem agar tetap bekerja dengan optimal. Sistem proteksi berperan sangat penting dalam kelangsungan pendistribusian energi listrik ke beban. Fungsi dari sistem proteksi adalah untuk menjaga dan mencegah gangguan yang terjadi pada sistem, mendeteksi area gangguan yang terjadi sehingga kelangsungan pendistribusian energi listrik tetap terjaga dengan baik. Dengan adanya sistem proteksi yang baik, maka keselamatan manusia juga dapat terjaga dari bahaya yang ditimbulkan oleh gangguan-gangguan listrik sehingga resiko kecelakaan kerja dapat di minimalisir.

Pada Gardu Induk Gejayan terdapat komponen-komponen kelistrikan yang berperan sangat penting untuk menjaga jaringan listrik ketika mendistribusikan energi listrik, maka sistem proteksi yang ada pada Gardu Induk harus memenuhi syarat keandalan, kecepatan, keamanan serta sensitivitas yang baik agar Gardu Induk aman dari gangguan.

Merujuk pada latar belakang di atas, maka penelitian ini dilaksanakan untuk mengetahui sistem kerja proteksi *Overcurrent Relay* (OCR) dan *Fuse Cut Out* (FCO) pada Gardu Induk Gejayan serta menggunakan *software* ETAP (*Electric Transient And Analysis Program*) sebagai simulator untuk mendapatkan hasil simulasi yang dilakukan. Dengan harapan sistem kerja rele OCR dan FCO ini tetap bekerja memenuhi standar di tahun-tahun yang akan datang.

II. TEORI PENDUKUNG

1. Gangguan Sistem Distribusi Tenaga Listrik

Ada banyak gangguan-gangguan yang sering terjadi pada suatu sistem tenaga listrik. Diantaranya sebagai berikut:

a. Gangguan Akibat Tegangan Berlebih (*Over Voltage*)

Yang dimaksud dengan gangguan tegangan berlebih ialah ketika suatu sistem tenaga listrik mengalami gangguan akibat adanya kelainan pada sistem tersebut. Penyebab terjadinya gangguan ini karena adanya gangguan sistem yang disebabkan oleh sambaran petir dan dapat juga gangguan yang disebabkan oleh isolasi yang di akibatkan oleh perubahan secara tiba-tiba di rangkaian atau yang biasa disebut dengan gangguan *Transient Over Voltage*. Selain itu, dapat juga disebabkan oleh pembangkit yang mengalami *over speed* pada generator, kehilangan beban dan gangguan pada *Automatic Voltage Regulator* (AVR) sehingga terjadilah gangguan tegangan lebih *Power Frekuensi*.

b. Gangguan Akibat Beban Berlebih (*Over Load*)

Gangguan beban lebih merupakan suatu gangguan yang diakibatkan oleh nilai beban listrik yang terpasang melebihi batas nilai beban listrik yang telah di terapkan di lapangan. Ciri terjadinya beban lebih adalah ketika terjadinya arus berlebih pada komponen-komponen yang terpasang. Jika dibiarkan arus lebih ini akan menyebabkan panas sehingga dapat merusak peralatan sistem tenaga listrik yang dialiri arus berlebih tersebut.

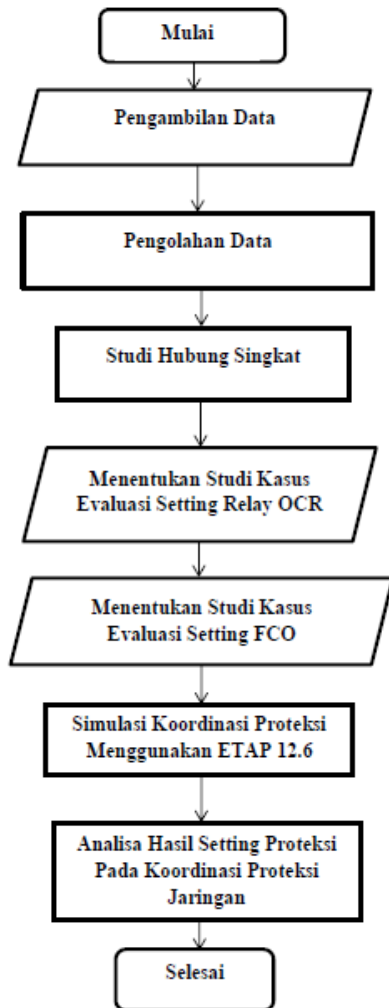
c. Gangguan Hubung Singkat (*Short Circuit*)

Gangguan hubung singkat adalah suatu jenis gangguan yang disebabkan oleh arus listrik yang melonjak secara tiba-tiba pada sistem tenaga listrik. Ada dua jenis gangguan hubung singkat yang ditinjau dari waktu berlangsungnya hubung singkat tersebut. Jika suatu gangguan hubung singkat berlangsung dengan waktu yang lama, penyebabnya adalah hubung singkat pada kabel, belitan trafo, dan generator. Sedangkan jika gangguan hubung singkat berlangsung sementara, penyebabnya adalah faktor alam seperti sambaran petir, ranting-ranting pohon yang menyentuh kabel

pada jaringan distribusi listrik, dan tiupan angin kencang yang membuat kabel bersentuhan.

III. METODE PENELITIAN

Langkah-langkah metodologi penelitian dalam tugas akhir ini sebagai berikut :



Gambar 1 Flowchat Tahap Penelitian

IV. HASIL PEMBAHASAN

1. Data dan Spesifikasi Transformator

Daya : 60 MVA
 Tegangan : 150/20 kV
 Impedansi : 12,47 %
 Vector Group : YN yn0 (d)
 Rn : 0,5 Ohm

2. Data Kabel Penyulang GJN-04 Transformator 1

Kabel yang digunakan pada penyulang GJN-04 adalah AAAC 240 mm² dengan panjang jaringan sejauh 10,25 km. Berdasarkan SPLN 1985:64 kabel atau penghantar tersebut memiliki impedansi sebagai berikut:

Jenis Pengantar	Impedansi Urutan Positif/Negatif	Impedansi Urutan Nol
AAAC (A3C)	0,1344+j 0,3158	0,2824+j 1,6033

Tabel 1. Data Kabel

3. Data dan Spesifikasi Rele GI Gejayan

Jenis Rele	Setting	OCR Pada Recloser	OCR Pada Penyulang
OCR (SI)	TMS	0,1	0,25
	T (detik)	0,02	0,3

Tabel 2. Data dan Spesifikasi Rele

A. Menghitung Impedansi Sumber

$$\begin{aligned}
 MVA_{sc} &= \sqrt{3} \times I_{sc} \times V \\
 MVA_{sc} &= \sqrt{3} \times 16 \text{ kA} \times 150 \text{ kV} \\
 &= 4156,92 \text{ MVA}
 \end{aligned}$$

Didapat nilai hubung singkatnya sebesar 4156,92 MVA, maka dapat dihitung impedansi sumber (Xs) sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 ZS_{primer} &= \frac{kV (sisiprimer)^2}{MVA \text{ hubung singkat}} \\
 ZS_{primer} &= \frac{150^2}{4156,92} = 5,41 \Omega
 \end{aligned}$$

Lalu impedansi di sisi sekundernya yaitu:

$$\begin{aligned}
 ZS_{sekunder} &= \frac{kVs^2}{kVp^2} \times ZS_{primer} \\
 ZS_{sekunder} &= \frac{20^2}{150^2} \times 5,41 \Omega \\
 &= 0,097 \Omega
 \end{aligned}$$

B. Mengitung Reaktansi Transformator

Pada trafo 1 terdapat impedansi sebesar 12,47 %, dengan impedansi tersebut dapat diketahui reaktansi urutan positif dan negatif, serta nol. Sebelum itu harus diketahui dulu nilai ohm pada 100 %, yaitu:

$$X_{t(\text{pada } 100\%)} = \frac{kV(\text{sekunder})^2}{MVA \text{ Transformator}}$$

$$= \frac{20^2}{60} = 6,67 \Omega$$

Maka nilai reaktansinya adalah:

- Reaktansi urutan positif dan negatif ($X_{t1}=X_{t2}$)

$$X_t = 12,47 \% \times 6,67 \Omega$$

$$X_t = 0,8317 \Omega$$

- Reaktansi urutan nol (X_{t0})

Berdasarkan spesifikasi trafo 1 memiliki *vector group* YN yn0 (d), maka:

$$X_{t0} = 3 \times X_t$$

$$X_{t0} = 3 \times 0,8317$$

$$= 2,4951 \Omega$$

C. Perhitungan Arus Gangguan Hubung Singkat 3 fasa, 2 fasa ke tanah dan 1 fasa tanah

Berikut ini merupakan hasil perhitungan arus gangguan hubung singkat yang dapat dilihat pada tabel berikut:

Panjang Penyulang (%)	Jarak (Km)	Arus Gangguan Hubung Singkat (A)		
		1 fasa ke tanah	2 fasa ke tanah	3 fasa
0	0	3517,7	10767,7	12433,5
25	2,562	2666,4	5644,3	6517,4
50	5,125	1720,7	3789,9	4376,1
75	7,687	1270,2	2847,5	3288,1
100	10,25	1006,7	2279,2	2631,8

Tabel 3. Hasil Perhitungan Arus Gangguan Hubung Singkat 3, 2, dan 1 Fasa

Dari tabel di atas dapat dianalisis bahwa semakin jauh jarak titik gangguan maka akan semakin kecil gangguan arus hubung singkatnya, hal ini di pengaruhi oleh besarnya nilai impedansi ekuivalen (tahan gangguan). Jika nilai impedansi ekuivalen besar maka nilai arus gangguan hubung singkat akan semakin kecil. Begitu juga sebaliknya, jika semakin dekat dengan jarak titik gangguan maka arus gangguan hubung singkat akan semakin besar. Hal ini berlaku juga pada arus gangguan hubung singkat 2 fasa tanah dan 1 fasa ke tanah.

D. Perhitungan Setting Rele Arus Lebih

Dalam *setting* sebuah rele arus lebih banyak faktor yang harus diperhatikan, salah satunya adalah karakteristik rele itu sendiri. Rele pada penyulang dan recloser di jaringan penyulang GJN-04 berkarakteristik *standard inverse* dengan ketentuan arus *setting* sebesar $1,05$ sampai $1,2 \times I_{\text{load maksimal}}$.

1. Setting rele di sisi penyulang GJN-04 / 20 kV

Pada sisi penyulang GJN-04 menggunakan rele arus lebih dengan kurva *standard inverse* dengan rasio CT 400 : 1 A. Berikut adalah perhitungan *setting* nya:

- Perhitungan Setelan Arus

$$\text{Diketahui : } I_{\text{beban}} = 480 \text{ Ampere}$$

$$\text{Rasio CT} = 400 : 1 \text{ Ampere}$$

$$I_{\text{set (primer)}} = 1,2 \times \text{beban}$$

$$= 1,2 \times 480$$

$$= 576 \text{ Ampere}$$

Nilai di atas merupakan nilai setelan arus pada sisi primer, dan untuk nilai setelan arus pada sisi sekunder dapat dihitung dengan cara sebagai berikut:

$$I_{\text{set (sekunder)}} = I_{\text{set (primer)}} \times \frac{1}{\text{Rasio CT}}$$

$$= 576 \text{ A} \times \frac{1}{400/1} \text{ A}$$

$$= 576 \text{ A} \times \frac{1}{400} \text{ A}$$

$$= 1,44 \text{ Ampere}$$

- Perhitungan Setelan TMS (*Time Multilexer Setting*)

Pada perhitungan setelan TMS ini menggunakan nilai perhitungan arus gangguan hubung singkat 3 fasa pada sisi penyulang GJN 04 pada titik lokasi gangguan 0 %. Diketahui nilai ketetapan $t = 0,3$ dektik, maka dapat dapat di hitung nilai TMS dengan cara sebagai berikut:

$$\text{TMS} = \frac{t \times \left(\left(\frac{I_{\text{fault}}}{I_{\text{set(primer)}}} \right)^{0,02} - 1 \right)}{0,14}$$

$$= \frac{0,3 \times \left(\left(\frac{I_{\text{Gangguan hubung singkat 3 fasa}}}{I_{\text{set(primer)}}} \right)^{0,02} - 1 \right)}{0,14}$$

$$= \frac{0,3 \times \left(\left(\frac{12433,5}{576} \right)^{0,02} - 1 \right)}{0,14}$$

$$= 0,1357$$

2. *Setting* rele di sisi yang terpasang pada recloser

Terdapat rele arus lebih yang terpasang pada recloser di sisi *outgoing* penyulang GJN-04 dengan rasio CT 600 : 1 A dengan jenis kurva *standard inverse*. Berikut adalah perhitungan *setting* nya:

- Perhitungan Setelan Arus
 Diketahui : $I_{\text{beban}} = 400$ Ampere
 Rasio CT = 600 : 1 Ampere
 $I_{\text{set (primer)}} = 1,2 \times \text{beban}$
 $= 1,2 \times 400$
 $= 480$ Ampere

Nilai di atas merupakan nilai setelan arus pada sisi primer, dan untuk nilai setelan arus pada sisi sekunder dapat dihitung dengan cara sebagai berikut:

$$I_{\text{set (sekunder)}} = I_{\text{set (primer)}} \times \frac{1}{\text{Rasio CT}}$$

$$= 480 \text{ A} \times \frac{1}{400/1} \text{ A}$$

$$= 480 \text{ A} \times \frac{1}{400} \text{ A}$$

$$= 0,8 \text{ Ampere}$$

- Perhitungan Setelan TMS (*Time Multilexer Setting*)

Pada perhitungan setelan TMS ini menggunakan nilai perhitungan arus gangguan hubung singkat 3 fasa pada sisi penyulang GJN 04 pada titik lokasi gangguan 0 %. Diketahui nilai ketetapan waktu kerja rele $t = 0,02$ dektik, maka dapat dapat di hitung nilai TMS dengan cara sebagai berikut:

$$\text{TMS} = \frac{t \times \left(\left(\frac{I_{\text{fault}}}{I_{\text{set(primer)}}} \right)^{0,02} - 1 \right)}{0,14}$$

$$= \frac{0,02 \times \left(\left(\frac{I_{\text{Gangguan hubung singkat 3 fasa}}}{I_{\text{set(primer)}}} \right)^{0,02} - 1 \right)}{0,14}$$

$$= \frac{0,02 \times \left(\left(\frac{12433,5}{480} \right)^{0,02} - 1 \right)}{0,14}$$

$$= 9,607 \times 10^{-3}$$

E. Pemeriksaan Waktu Kerja Rele

Pada sisi penyulang dan yang terpasang pada recloser GJN-04, menggunakan rele dengan karakteristik *standard inverse*. Dengan mengasumsikan gangguan dengan titik lokasi gangguan pada 0%, 25%, 75%, dan 100% maka dapat dihitung waktu kerja rele dengan menggunakan rumus sebagai berikut:

$$t = \frac{0,14 \times \text{TMS}}{\left(\frac{I_{\text{fault}}}{I_{\text{set}}} \right)^{0,02} - 1}$$

- Pemeriksaan Waktu Kerja Rele pada Gangguan Arus 3 Fasa

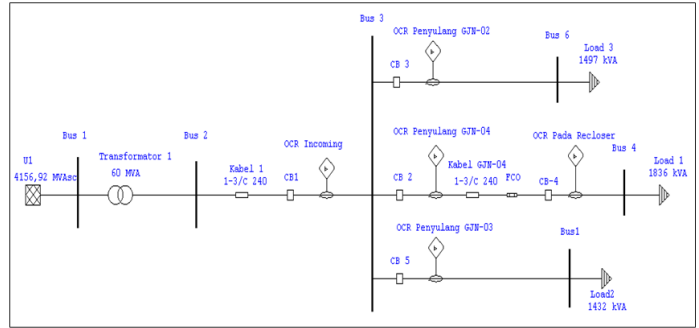
Lokasi Gangguan dari Penyulang (%)	Mulai Waktu OCR Penyulang Mendeteksi Gangguan (Detik)	Mulai Waktu OCR Recloser Mendeteksi Gangguan (Detik)
0	0,29	0,019
25	0,38	0,025
50	0,45	0,029
75	0,53	0,034
100	0,61	0,038

- Pemeriksaan Waktu Kerja Rele Pada Gangguan Arus 2 Fasa ke Tanah

Lokasi Gangguan dari Penyulang (%)	Mulai Waktu OCR Penyulang Mendeteksi Gangguan (Detik)	Mulai Waktu OCR Recloser Mendeteksi Gangguan (Detik)
0	0,31	0,020
25	0,40	0,026
50	0,49	0,031
75	0,58	0,037
100	0,68	0,042

3. Pemeriksaan Waktu Kerja Rele Pada Gangguan Arus 1 Fasa ke Tanah

Hasil Perhitungan Waktu Kerja Rele Arus Lebih Pada Gangguan 1 Fasa ke Tanah		
Lokasi Gangguan dari Penyulang (%)	Mulai Waktu OCR Penyulang Mendeteksi Gangguan (Detik)	Mulai Waktu OCR Recloser Mendeteksi Gangguan (Detik)
0	0,51	0,033
25	0,61	0,038
50	0,85	0,052
75	1,19	0,068
100	1,69	0,090



Gambar 1. Simulasi Koordinasi Alat Proteksi Keseluruhan

1. Simulasi Koordinasi Alat Proteksi di Sisi *Outgoing* Pada Penyulang GJN-04 Berdasarkan Data yang Terpasang

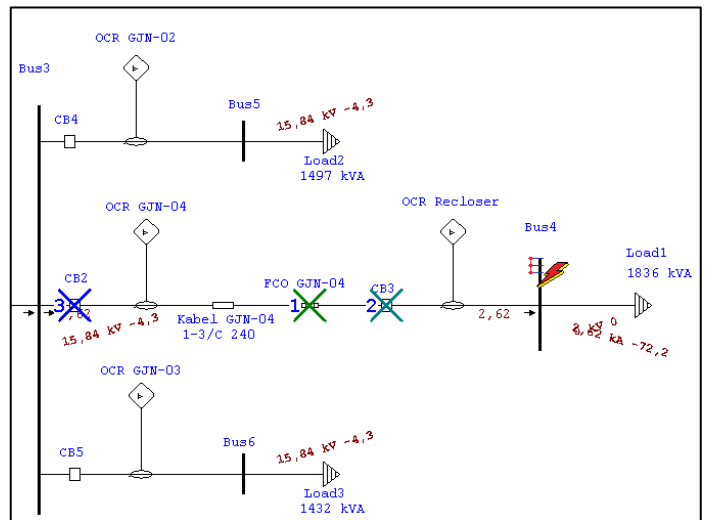
F. Simulasi Koordinasi Alat Proteksi Pada Software ETAP 12.6

Untuk menguji kerja OCR dengan FCO, maka akan dilakukan simulasi koordinasi proteksi pada sisi *outgoing* penyulang GJN-04 dengan menggunakan software ETAP 12.6. Metode pengujian yang digunakan adalah *Star – Protective Device Coordination* dengan memberikan gangguan di salah satu titik di jaringan agar dapat diketahui kinerja dari OCR dan FCO yang terpasang.

Simulasi gangguan akan dilakukan di sisi *outgoing* pada jaringan 20 kV penyulang GJN-04. Dengan melakukan simulasi, maka akan diketahui kinerja dan koordinasi OCR dan FCO yang terpasang dengan harapan kerja kedua alat proteksi tersebut dapat terorganisir dengan baik.

Pada simulasi, terdapat tiga penyulang yaitu, penyulang GJN-02, GJN-04, dan GJN 03. Simulasi gangguan akan diberikan hanya sisi *outgoing* di penyulang GJN-04 dikarenakan data *setting* di kedua penyulang yang lain hampir sama maka akan difokuskan pada satu penyulang saja yaitu GJN-04.

Dengan cara membandingkan antara simulasi berdasarkan data terpasang dan yang terhitung maka akan diketahui kinerja koordinasi antara OCR pada recloser dan FCO yang ada pada jaringan penyulang GJN-04.



Dari gambar di atas dapat dilihat, ketika bus 4 pada penyulang GJN-04 diberikan gangguan, maka akan memicu alat proteksi yang terpasang yaitu FCO dan OCR untuk bekerja. Semua alat proteksi sudah bekerja namun terdapat kekeliruan koordinasi antara FCO dan OCR pada recloser. Menurut penempatan posisi alat proteksi yang ada pada GJN-04, ketika terjadi arus gangguan maka koordinasi yang benar adalah OCR pada recloser akan merasakan terlebih dahulu arus gangguan yang terjadi dan akan memerintahkan CB-4 memutuskan aliran arus gangguan. Jika OCR pada recloser mengalami kerusakan, barulah pengamanan - *backup* yaitu FCO yang bekerja memutuskan aliran arus gangguan yang terjadi.

Time (ms)	ID	If (kA)	T1 (ms)	T2 (ms)	Condition
10,0	FCO GJN-04	2,618	< 10,0		
20,0	OCR Recloser	2,618	20,0		Phase - OC1 - 50
30,0	CB3		10,0		Tripped by OCR Recloser Phase - OC1 - 50
1097	OCR GJN-04	2,618	1097		Phase - OC1 - 51
1107	CB2		10,0		Tripped by OCR GJN-04 Phase - OC1 - 51

Dari hasil *report* simulasi koordinasi proteksi ETAP berdasarkan data yang terpasang dapat dilihat waktu kerja dari FCO dan OCR pada recloser. Ketika diberi arus gangguan pada bus 4 FCO bekerja terlebih dahulu dengan waktu kerja 10 ms = 0,01 detik sedangkan OCR pada recloser bekerja setelahnya dengan waktu kerja 20 ms = 0,02 detik dan akan memerintahkan CB-4 bekerja 0,01 detik setelahnya. Terdapat selisih waktu kerja 0,03 (CB-4) – 0,01 (FCO) = 0,02 detik antara FCO dan OCR pada recloser. Jadi FCO terlebih dahulu bekerja dan dilanjutkan OCR pada recloser. Dapat di analisis bahwa koordinasi antar kedua alat proteksi ini masih kurang baik.

2. Simulasi Koordinasi Alat Proteksi di Sisi *outgoing* Pada Penyulang GJN-04 Berdasarkan Data yang Terhitung

Pada simulasi ini akan menggunakan data-data yang telah dihitung di sub bab sebelumnya. Simulasi yang akan dilakukan adalah simulasi gangguan tiga fasa simetris dimana arus gangguan akan di letakkan pada titik terjauh pada jaringan. Ada beberapa data terhitung yang digunakan pada simulasi ini yaitu, data terhitung waktu kerja OCR baik itu di sisi penyulang maupun di sisi OCR pada recloser kemudian data terhitung FCO.

a. Waktu Kerja *Fuse Cut Out*

Perhitungan waktu kerja Fuse Cut Out ini dihitung berdasarkan waktu ketahanan kabel terhadap arus hubung singkat. Dalam suatu jaringan distribusi listrik, jenis kabel telah diatur didalam beberapa standar. Di Indonesia, standar kabel yang sering digunakan adalah standar dari PLN (SPLN). Standar yang mengatur tentang KHA konduktor adalah SPLN 64:1985. Berikut ini adalah standar KHA konduktor AAAC berdasarkan SPLN 64:1985:

Luas Penampang (mm ²)	KHA terus menerus penghantar AAAC (A)
240	585

Jika suatu penghantar pada saluran tenaga listrik mengalami gangguan hubung singkat, suhu konduktor akan naik dikarenakan arus sesaat yang terjadi akibat dari hubung singkat tersebut. Ada batas kenaikan suhu yang diizinkan untuk konduktor kawat almunium *alloy* adalah 150° C. Nilai arus gangguan hubung singkat yang berhubungan dengan batas suhu ini disebut kapasitas penyaluran sesaat. Kapasitas penyaluran sesaat berkaitan dengan waktu ketahanan konduktor terhadap kenaikan suhu yang di akibatkan gangguna hubung singkat yang terjadi. Pada penyulang GJN-04 di titik ujung jaringan terdapat FCO dengan type – T dengan arus pengenal 100 A.

Karakteristik	Arus Pengenal (A)	Tegangan Pengenal (A)	Waktu Kerja (detik)
Type – T (Lambat)	100	24	13,1

Tabel 4. Spesifikasi *Fuse Cut Out*

Berikut ini adalah rumus cara untuk mengetahui ketahanan konduktor:

$$t = \left(\frac{79,25 \times S}{I} \right)^2$$

- Waktu Kerja *Fuse Cut Out* Berdasarkan Batas Waktu Ketahanan Kabel

Pada saluran distribusi penyulang GJN 04 Gardu Induk Gejayan, menggunakan jenis kabel AAAC dengan luas penampang 240 mm². Untuk mendapatkan nilai ketahanan kemampuan kabel pada penyulang GJN 04, maka akan dihitung waktu ketahanan kabel terhadap arus gangguan hubung singkat tiga fasa di penyulang GJN 04.

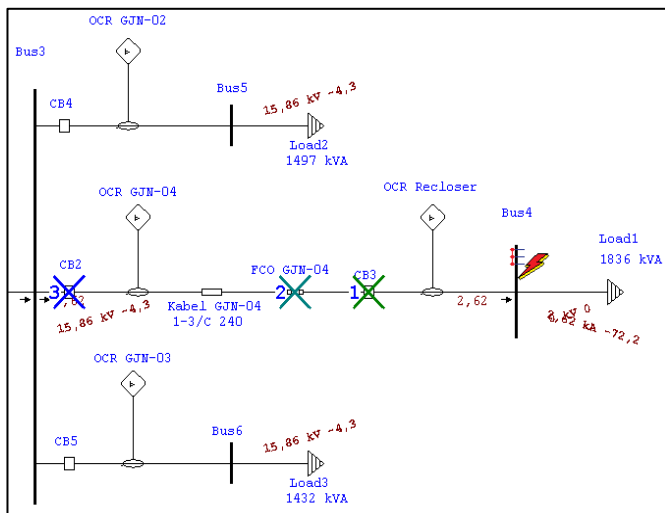
Pada simulasi yang berdasarkan data terhitung ini didapat arus gangguan pada titik bus 4 yaitu sebesar 2621 A. Maka dari itu untuk nilai I (arus gangguan) akan menggunakan nilai besaran arus gangguan tiga fasa yang mendekatinya yaitu pada titik 100 % dengan arus gangguan sebesar 2631,8 A. Berikut ini adalah perhitungan waktu ketahanan kabel terhadap gangguan arus tiga fasa di titik 100%:

$$t = \left(\frac{79,25 \times S}{I} \right)^2 = \left(\frac{79,25 \times 240 \text{ mm}^2}{2631,8} \right)^2$$

$$= 52,2 \text{ detik}$$

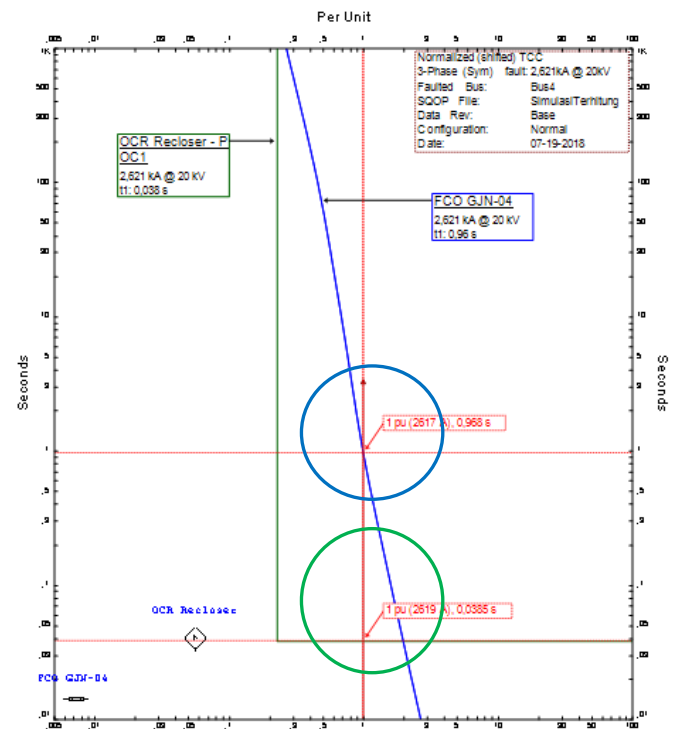
Dari hasil perhitungan di atas, waktu ketahanan pembebanan arus gangguan tiga fasa pada kabel yang terpasang di area FCO adalah sebesar 52,2 detik. Maka, ketika terjadi gangguan hubung singkat tiga fasa pada jaringan, FCO harus dapat bekerja untuk memutuskan aliran arus gangguan sebelum 52,2 detik.

Berikut ini adalah potongan gambar hasil simulasi koordinasi proteksi di sisi *outgoing* pada penyulang GJN-04 berdasarkan data yang terhitung:



Gambar di atas adalah simulasi yang dilakukan di sisi *outgoing* pada penyulang GJN-04 berdasarkan data yang terhitung. Seperti yang sudah dijelaskan sebelumnya, bahwa disaat terjadi gangguan hubung singkat OCR harus mampu berkerja lebih dulu agar FCO tidak perlu berkerja. Hal ini dikarenakan FCO berfungsi hanya sekali kerja saja, dengan kata lain ketika FCO berkerja maka FCO akan rusak dan harus diganti dengan yang baru. Oleh karna itu agar tidak perlu mengeluarkan banyak biaya untuk mengganti FCO maka OCR harus dapat berkerja dengan baik. Dari simulasi tersebut diketahui bahwa saat terjadi gangguan pada bus 4, OCR pada recloser yang berkerja lebih dulu. Namun, terlihat FCO juga berkerja dikarenakan pada metode analisis *Star – Protective Device Coordination* pada software ETAP akan memberitahu bahwa FCO yang sudah di *setting* dengan perhitungan yang benar sehingga apabila suatu kondisi dimana OCR pada recloser mengalami kerusakan dan tidak dapat berfungsi, maka FCO yang akan berkerja sebagai pengaman *backup*. Jadi, koordinasi antara OCR pada recloser

dengan FCO sudah berkerja dengan baik sehingga peralatan pada jaringan akan tetap aman disaat terjadi hubung singkat.



Gambar di atas merupakan grafik waktu kerja OCR pada recloser dan FCO, dari grafik tersebut dapat dilihat waktu kerja dari OCR pada recloser dan waktu kerja dari FCO. Dari grafik tersebut OCR pada recloser akan memberi perintah kerja kepada CB-4 untuk membuka disaat OCR tersebut membaca arus gangguan sebesar 2621 Ampere. OCR pada recloser akan merasakan arus gangguan sebesar 2621 Ampere dalam waktu 0,038 detik (ditunjukkan dalam lingkaran hijau). Sedangkan FCO akan merasakan arus gangguan sebesar 2621 ampere dalam waktu 0,96 detik (ditunjukkan dalam lingkaran biru). Dengan itu juga dapat dibuktikan bahwa waktu kerja FCO sudah baik karena FCO berkerja lebih dulu dari waktu ketahanan kabel terhadap arus gangguan tiga fasa yang sudah dihitung yaitu 52,2 detik.

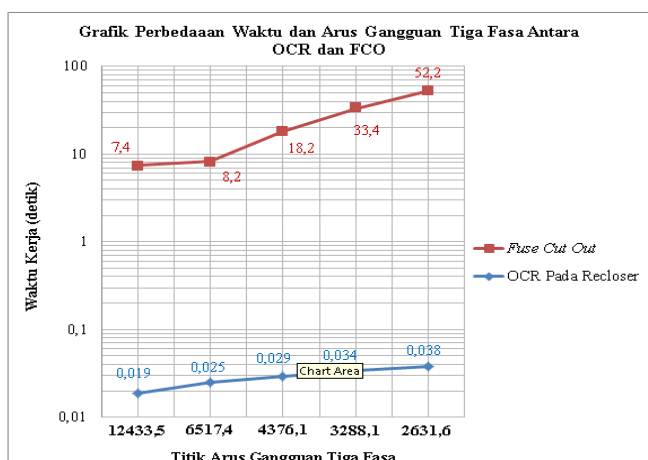
G. Perbandingan Hasil Perhitungan dan Hasil Simulasi

Berikut ini akan dijelaskan perbandingan hasil perhitungan dan hasil simulasi yang sudah dilakukan di software ETAP. Dibawah ini akan dijelaskan perbandingan berdasarkan arus gangguan dan waktu kerja OCR pada recloser dan FCO yang akan ditunjukkan pada tabel berikut:

No	Jenis Alat Proteksi	Hasil Simulasi		Hasil Perhitungan	
		Arus Gangguan 3 Fasa (A)	Waktu Kerja (Detik)	Arus Gangguan 3 Fasa (A)	Waktu Kerja (Detik)
1	OCR Pada Recloser	2621	0,038	2631,8	0,038
2	Fuse Cut Out	2621	0,98	2631,8	52,2

Tabel 5. Perbandingan Arus Gangguan dan Waktu Kerja OCR Pada Recloser dan FCO

Pada tabel dapat dilihat perbedaan yang ada pada hasil simulasi dan hasil perhitungan. Dari hasil simulasi didapat waktu kerja OCR pada Recloser sebesar 0,038 ketika simulasi gangguan tiga fasa di berikan di bus 4 dengan arus gangguan sebesar 2621 A di sisi lain berdasarkan hasil perhitungan yang sudah dilakukan didapat waktu kerja OCR pada Recloser sebesar 0,038 detik dengan arus gangguan tiga fasa sebesar 2631,8 A. Sedangkan pada *fuse cut out* berdasarkan hasil simulasi di dapat waktu kerja FCO sebesar 1,1 detik ketika gangguan tiga fasa diberikan di bus 4 dengan arus gangguan sebesar 2621 A kemudian dari hasil perhitungan yang telah dilakukan didapatkan waktu kerja FCO berdasarkan ketahanan kabel sebesar 52,2 detik dengan arus gangguan tiga fasa 2631,8 A. Untuk melihat perbedaan waktu kerja antara OCR dan FCO lebih jelasnya akan di tampilkan dalam bentuk grafik di bawah ini:



Dari grafik di atas, dapat dilihat perbedaan waktu kerja antara OCR pada recloser dan FCO dimana nilai waktu FCO adalah nilai waktu ketahanan kabel terhadap arus gangguan tiga fasa. OCR pada recloser ditandai dengan warna biru dan untuk FCO ditandai dengan warna merah. Pada dasarnya prinsip waktu kerja dari OCR dan FCO hampir sama yaitu jika semakin besar arus gangguan yang terjadi maka akan semakin cepat alat proteksi akan bekerja. Hal ini terlihat pada garis grafik yang menunjukkan perubahan dari kiri bawah menuju ke kanan atas. Jika dilihat dari waktu kerja OCR pada recloser, ketika arus gangguan terjadi pada jaringan sebesar 2621 A (titik 100%) maka OCR akan bekerja dengan waktu 0,038 detik kemudian waktu kerjanya akan semakin cepat jika arus gangguan bertambah besar seperti yang ditunjukkan pada grafik.

Di sisi lain, waktu kerja FCO di grafik merupakan waktu kerja ketahanan kabel terhadap arus gangguan tiga fasa yang terjadi. Waktu ketahanan kabel akan semakin cepat jika arus gangguan bertambah besar. FCO harus dapat bekerja sebelum waktu ketahanan kabel tersebut. Ketika dilakukan simulasi arus gangguan pada ETAP didapatkan nilai arus ganggaun sebesar 2621 ampere , FCO akan bekerja dalam waktu 0,98 detik hal ini membuktikan bahwa waktu kerja FCO sudah bekerja dengan semestinya dimana tidak melebihi batas waktu ketahanan kabel terhadap arus gangguan sebesar 2631,6 A dengan waktu 52,2 detik. Dari penjelasan di atas maka dapat diketahui bahwa waktu kerja OCR pada recloser lebih cepat daripada FCO.

V. PENUTUP

A. Kesimpulan

Berdasarkan data-data yang telah didapatkan dari Gardu Induk 150/20 kV Gejayan dan kemudian diolah, maka dapat ditarik kesimpulan:

1. Koordinasi antara OCR pada recloser dan FCO berdasarkan data yang terpasang tidak berjalan dengan baik, maka diperlukan penyesuaian dan *setting* ulang pada kedua alat proteksi tersebut agar keandalan sistem distribusi pada penyulang GJN-04 berjalan dengan baik.
2. Ketika terjadi arus gangguan hubung singkat tiga fasa yang ada, kedua alat proteksi yaitu OCR dan FCO akan bekerja saat arus gangguan hubung singkat yang melewati OCR

- dan FCO melebihi besaran nilai *setting* yang sudah terhitung pada kedua alat proteksi tersebut. Dilihat dari hasil simulasi gangguan pada penyulang GJN-04 di sisi *outgoing*, OCR pada recloser bekerja terlebih dahulu daripada FCO saat arus gangguan hubung singkat melewatinya. OCR pada recloser akan merasakan arus gangguan 2621 ampere dengan waktu 0,038 detik dan FCO akan merasakan arus gangguan 2621 ampere dengan waktu 1,1 detik. Perbedaan waktu kerja antara kedua alat proteksi tersebut dipengaruhi oleh titik lokasi gangguan yang terjadi pada penyulangnya, semakin jauh titik gangguan yang terjadi maka selisih waktu kerja antara OCR dan FCO juga akan semakin besar pula. Hal tersebut membuktikan bahwa koordinasi antara OCR pada recloser dan FCO sudah bekerja dengan baik.
3. Berdasarkan data yang terpasang dengan terhitung yang kemudian di simulasikan pada *software* ETAP terdapat perbedaan waktu kerja antara OCR dan FCO. Dimana ketika dilakukan simulasi berdasarkan data yang terpasang, FCO akan bekerja terlebih dahulu daripada OCR pada recloser. Hal ini dianggap kurang memenuhi standar karena ketika terjadi gangguan hubung singkat, yang bekerja terlebih dahulu adalah pengaman *backup* nya bukan pengaman utamanya. Sedangkan ketika dilakukan simulasi berdasarkan data yang sudah terhitung. OCR pada recloser akan bekerja terlebih dahulu daripada FCO. Apabila pada pengaman utama tidak dapat berfungsi, maka pengaman *backup* yang akan bekerja setelahnya.

B. Saran

1. Setelah dilakukan analisa koordinasi, perlu dilakukan penyesuaian dan *setting* ulang terhadap OCR pada recloser dan FCO di penyulang GJN-04 Gardu Induk 150/20 kV Gejayan.
2. Untuk penelitian selanjutnya, ketika sedang melakukan pengambilan data di tempat penelitian diharapkan memperhatikan kebenaran dari data yang diambil karena kebenaran data-data tersebut sangat mempengaruhi perhitungan-perhitungan yang akan dilakukan.
3. Jika ada penelitian selanjutnya yang bertempat pada gardu induk gejayan, agar dapat melakukan penelitian terhadap alat proteksi lainnya seperti GFR, Rele differensial agar keandalan sistem pada penyulang-penyulang yang ada dapat terjaga dan berjalan dengan baik.
4. Pada saat dilakukan pembukuan tahunan alat-alat proteksi pada gardu induk gejayan, disarankan untuk selalu memperbaharui data alat proteksi yang ada. Karena ketika dilakukan pengambilan data terdapat data-data alat proteksi yang kurang lengkap.

REFERENSI

- [1]. Anonim. *Calculation Of Short-Circuit Currents*. Cahier Technique No. 158
- [2]. Anonim. *Overcurrent Protection for Phase and Earth Faults*
- [3]. Djailani, A. 2018. *Analisis Koordinasi Proteksi Penyulang 20 kV dan Proteksi Pelanggan Khusus Tegangan Menengah Pada Gardu Induk Bantul*. Tugas Akhir Pada Jurusan Teknik Elektro Universitas Muhammadiyah Yogyakarta.
- [4]. Iman, dkk. 2014. *Koordinasi Recloser Dengan FCO (Fuse Cut Out) Sebagai Pengaman Terhadap Gangguan Arus Lebih Pada Penyulang Dengan 1 Fasa di Gardu Induk Sanggrahan Magelang*. Jurnal Teknik Elektro Universitas Diponegoro Semarang.
- [5]. Satya, A. 2018. *Analisis Koordinasi Proteksi Overcurrent Relay (OCR) Pada Sistem Kelistrikan Industri Di PT. Dian Swastatika Sentosa Plant 1 TBK Karawang*. Tugas Akhir Pada Jurusan Teknik Elektro Universitas Muhammadiyah Yogyakarta.
- [6]. PLN. 1985. *Petunjuk Pemilihan dan Penggunaan Pelebur Pada Sistem Distribusi Tegangan Menengah*. SPLN 64: 1985.
- [7]. PLN. 2017. *Spesifikasi Fuse Cut Out*. SPLN D3.026: 2017.
- [8]. Setiyawan, A. 2017. *Analisis Koordinasi Proteksi Pada PT. PLN (Persero) Gardu Induk Wonosobo Menggunakan Software ETAP*. Tugas Akhir Pada Jurusan Teknik Elektro Universitas Muhammadiyah Yogyakarta.

- [9]. Syahputra, R. 2016. *“Transmisi dan Distribusi Tenaga Listrik”*. LP3M UMY, Yogyakarta.
- [10]. Wahyu, dkk. 2014. *Koordinasi Penempatan Peralatan Proteksi Jenis Arus Lebih (OCR) dan Pelebur (FCO) di Penyulang 20 kV Dari GI 150/20 kV Mrica Banjarnegara*. Jurnal Teknik Elektro Universitas Diponegoro Semarang.