

ANALISIS KEMAMPUAN *OVER CURRENT RELAY* (OCR) DAN *GROUND FAULT RELAY* (GFR) DALAM MENANGANI *TROUBLE* PADA SISTEM PROTEKSI DI GARDU INDUK 150 KV GEJAYAN

Denny Bagus Prakoso ¹, Ramadoni Syahputra ², Anna Nur Nazilah Chamim ³, Widyasmoro ⁴

Fakultas Teknik, Jurusan Teknik Elektro, Universitas Muhammadiyah Yogyakarta

Jl. Brawijaya, Geblangan, Tamantirto, Kasihan, Bantul, Daerah Istimewa Yogyakarta 55183

Email : dennybagusp@gmail.com

INTISARI

Berkembangnya teknologi saat ini maka kebutuhan energi listrik juga harus terpenuhi dengan sangat baik. Semakin banyak jumlah perkembangan penduduk pada suatu daerah maka kebutuhan energi listrik juga akan mengalami peningkatan, sehingga arus listrik yang digunakan juga semakin besar seiring dengan meningkatnya beban energi listrik. Ketika beban energi listrik terus meningkat maka akan berdampak pula pada kemampuan kerja transformator. Maka dari itu transformator yang digunakan harus dilindungi dari berbagai gangguan salah satunya gangguan beban berlebih. *Over Current Relay* (OCR) dan *Ground Fault Relay* (GFR) adalah suatu relay yang bekerja mendeteksi arus berlebih yang melewati system dan memberikan perintah kepada CB (pemutus) untuk trip yang bertujuan untuk memberkan proteksi kepada tranformator daya dari gangguan yang ada. Penelitian ini akan menganalisis kemampuan sistem *Over Current Relay* (OCR) dan *Ground Fault Relay* (GFR) yang ada di Gardu Induk 150 kV Gejayan serta menggunakan *software* ETAP sebagai media simulasi. Metode yang digunakan pada penelitian ini adalah pencarian data yang diperlukan di Gardu Induk 150 kV Gejayan. Data yang didapatkan digunakan untuk perhitungan matematis. Hasil yang diperoleh dari perhitungan didapatkan arus hubung singkat terbesar yaitu arus hubung singkat 3 fasa di titik lokasi gangguan 0% sebesar 12523,86 Ampere, arus hubung singkat 2 fasa di titik lokasi gangguan 0% sebesar 10845,98 Ampere dan arus hubung singkat 1 fasa ke tanah di titik lokasi gangguan 0% sebesar 3415,29 Ampere. Dari data yang terpasang dengan data hasil perhitungan terdapat selisih atau perbedaan yang tidak signifikan.

KATA KUNCI : Proteksi, *Over Current Relay*, *Ground Fault Relay*, ETAP

I. Pendahuluan

Pada saat ini teknologi sudah makin berkembang dan juga populasi penduduk di suatu daerah semakin bertambah, maka dari itu kebutuhan energi termasuk energi listrik juga meningkat. Hal ini terjadi karena hampir semua kegiatan manusia menggunakan energi listrik, karena energi listrik juga merupakan salah satu energi yang sangat penting untuk kehidupan manusia.

Jika kebutuhan energi listrik meningkat maka beban energi listrik yang dibutuhkan juga semakin besar dan secara otomatis arus listrik yang digunakan juga semakin besar, maka dari itu dibutuhkan sistem proteksi yang sangat memadai agar dapat meminimalisir terjadinya kerusakan-kerusakan pada peralatan-peralatan listrik. Seperti contoh pada peralatan-peralatan listrik yaitu trafo, jika beban yang digunakan semakin besar maka kinerja trafopun akan meningkat. Maka dari itu system proteksi akan mencegah agar tidak terjadi beban berlebih pada trafo tersebut.

Sistem proteksi *Over Current Relay* (OCR) yaitu sebuah system relay yang akan bekerja ketika terjadi arus berlebih pada peralatan-peralatan listrik yang biasanya terjadi karena adanya arus hubunga singkat. Pada trafo OCR ini berfungsi melindungi trafo jika ada arus yang melebihi dari arus

yang dibolehkan. Sistem proteksi *Ground Fault Relay* (GFR) yaitu sebuah system relay yang melindungi dari gangguan tanah.

Beberapa gangguan yang terjadi di Gardu Induk yaitu *Over Load* (Beban Berlebih) yang sering membuat terputusnya arus listrik, khususnya di bagian jaringan distribusi, sehingga harus memiliki system proteksi yang memadai agar gangguan yang terjadi pada jaringan distribusi tidak mempengaruhi pada jaringan transmisi yaitu pusat pensuplai listrik.

II. Landasan Teori

2.1. Sistem Proteksi *Over Current Relay* (OCR)

Sistem proteksi OCR merupakan sebuah alat yang bekerja pada saat ada gangguan hubung singkat yang berdampak dengan naiknya arus. Hubung singkat merupakan hubungan konduksi sengaja / tidak sengaja yang melalui impedansi yang cukup rendah antara dua atau lebih titik yang dalam keadaan normalnya mempunyai beda potensial.

Standard Inverse merupakan jenis relay arus lebih yang sangat baik untuk dikoordinasikan karena memiliki tunda waktu yang statis dan mempunyai setelan kurva arus dan waktu sehingga relay arus lebih jenis ini dapat memberikan tunda waktu berdasarkan besar atau tidaknya arus yang

terukur. Semakin besar arus, maka semakin kecil waktu tundanya.

Rumus umum dari *standard inverse* yaitu

$$t = \frac{0,14}{I^{(0,02-1)}} [tms]$$

dimana :

t^{\wedge} : Time setting relay

tms : Standar waktu setting relay

K : Konstanta standard inverse (0,14)

α : Konstanta standard inverse (0,02)

Prinsip kerja *Over Current Relay* yaitu ketika relay mendeteksi adanya arus lebih, baik disebabkan adanya gangguan hubung singkat atau overload (beban lebih), kemudian relay akan memberikan sinyal dan memberikan perintah trip ke pemutus tenaga (PMT) sesuai dengan karakteristik waktunya.

Arus setting untuk relay *Over Current Relay* pada sisi primer transformator tenaga yaitu

$$I_{set(prim)} = 1,05 \times I_{nom\ trafo}$$

dimana

I_{set} : Setting arus

I_{nom} : Arus nominal pada transformator

Arus setting untuk relay *Over Current Relay* pada sisi sekunder yaitu

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

2.2. Sistem Proteksi *Ground Fault Relay* (GFR)

Sistem proteksi GFR bekerja dengan cara mendeteksi melalui binary input yang ada pada relay sehingga memerintahkan binary output agar memberikan perintah bila ada hubungan singkat ke tanah. Relay ini bekerja pada saat terjadi kenaikan arus yang melebihi suatu nilai setting pengaman tertentu dalam jangka waktu tertentu.

Prinsip kerja system proteksi GFR yaitu pada kondisi normal beban seimbang I_r , I_s , I_t sama besar, sehingga pada kawat netral tidak timbul arus dan relay hubungan tanah tidak di aliri arus. Relay hubung tanah akan bekerja ketika timbul arus urutan nol pada kawat netral yang disebabkan oleh gangguan hubung singkat ke tanah ataupun ketidakseimbangan arus.

Arus setting untuk relay GFR pada sisi primer transformator tenaga yaitu

$$I_{set(prim)} = 10\% \times I_{nom\ trafo}$$

dimana

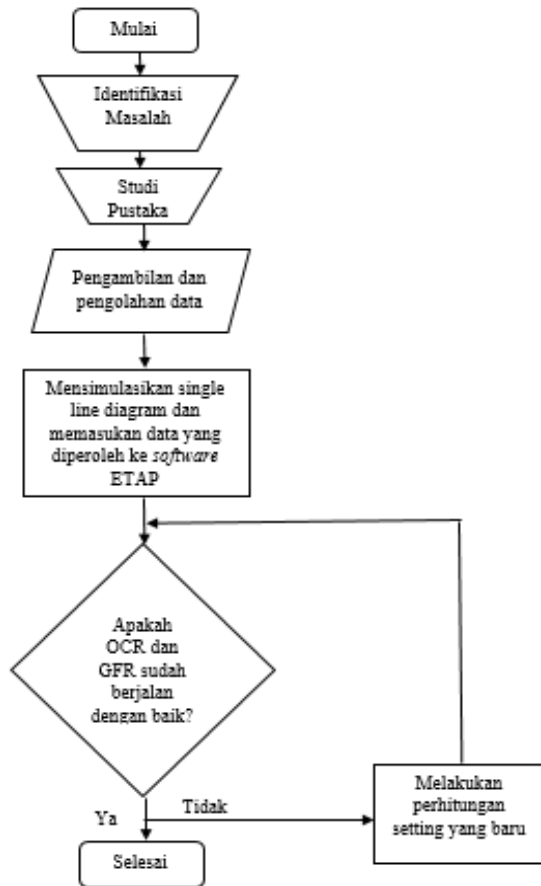
I_{set} : Setting arus

I_{nom} : Arus nominal pada transformator

Arus setting untuk relay GFR pada sisi sekunder transformator tenaga yaitu

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

III. Metode Penelitian



IV. Hasil Penelitian dan Pembahasan

4.1. OCR dan GFR di Gardu Induk Gejayan 150 Kv

Over Current Relay adalah relai yang berfungsi sebagai pengaman peralatan dengan cara memutus suatu jaringan ketika terjadi sebuah gangguan arus berlebih yang mana melebihi nilai yang di setting pada alat yang sudah ditetapkan sebelumnya. Sedangkan *Ground Fault Relay* adalah sebuah proteksi yang memiliki fungsi yaitu pengaman ketika terjadi gangguan tanah. Relai ini biasanya terhubung dengan CB

maupun PMT ketika terjadi sebuah gangguan kenaikan nilai arus yang melebihi nilai setting maka relay akan mengirimkan sinyal untuk CB agar CB bekerja untuk trip dan memutus arus abnormal yang telah terjadi.

Tabel 4.1 Spesifikasi OCR dan GFR yang terpasang

No	Proteksi	Rasio CT
1	Incoming	2000/1
2	Penyulang	400/1

4.2. Data seting relay di Gardu Induk Gejayan

Tabel 4.2 Data Setting Relay di sisi Incoming Jaringan gardu Induk Gejayan

Jenis Relay	Setting	Sisi Incoming	Sisi Penyulang
OCR	TMS	0.23	0.25
	T (detik)	0.6	0.3
	I set	1.04	1.20
GFR	TMS	0.43	0.34
	T (detik)	0.6	0.3
	I set	0.35	0.50

4.3.Perhitungan

1. Menghitung Impedansi Sumber

$$MVAsc = \sqrt{3} \times I_{sc} \times V$$

dimana :

I_{sc} : Arus hubung singkat 20kV (kA)

v : Tegangan sisi primer (kV)

Jadi,

$$\begin{aligned} MVAsc &= \sqrt{3} \times 16kA \times 150kV \\ &= 4156,92 MVA \end{aligned}$$

Menurut perhitungan diatas, maka nilai impedansi sumber dapat dihitung sebagai berikut ini :

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

Karena yang dibutuhkan adalah nilai sisi 20 kV maka impedansi sumber di konversikan ke 20 kV

$$\begin{aligned} X_{s(20kV)} &= \frac{kV(\text{sisi sekunder})^2}{kV(\text{sisi primer})^2} \\ &\quad \times X_{s(150kV)} \\ X_{s(20kV)} &= \frac{20^2}{150^2} \times 5,41\Omega \\ &= 0,097\Omega \end{aligned}$$

2. Menghitung Reaktansi Transformator

$$\begin{aligned} X_t(\text{pada } 100\%) &= \frac{kV(\text{sisi sekunder})^2}{MVA \text{ Trafo}} \\ &= \frac{20^2}{60MVA} = 6,66 \Omega \end{aligned}$$

Maka besarnya nilai reaktansi urutan positif dan negative serta reaktansi urutan nol adalah sebagai berikut:

3. Reaktansi urutan positif dan negative ($X_{t1}=X_{t2}$)

$$\begin{aligned} X_t &= \text{Impedansi} \times X_t(100\%) \\ &= 12,4\% \times 6,66 = 0,825\Omega \end{aligned}$$

4. Reaktansi urutan nol (X_{t0})

Menurut data spesifikasi trafo, trafo tersebut memiliki vector group YNyn0 (d) yaitu dalam trafo tersebut tidak terdapat belitan delta didalamnya, lalu diambil nilai sebesar $10 \times X_{t1}$. Maka ,

$$X_{t0} = 10 \times 0,825 = 8,25\Omega$$

5. Menghitung Impedansi Penyulang

Menurut tabel penyulang GIN 13 pada Gardu Induk Gejayan 150kV menggunakan jenis penghantar AAAC dengan diameter $240mm^2$ dengan Panjang penyulang sejauh 1,80 km, maka dapat dihitung:

$$Z1 = Z2(\text{AAAC } 240mm^2)$$

$$\begin{aligned} Z1 = Z2 &= (0,1344 + j 0,3158)\Omega \\ &\quad /km \times 1,80 km \end{aligned}$$

$$Z1 = Z2 = 0,24192 + j 0,56844\Omega$$

Sedangkan perhitungan nilai $Z0$ nya yaitu

$$Z0(\text{AAAC } 240mm^2)$$

$$\begin{aligned} Z0 &= (0,2824 + j 1,6033)\Omega/km \\ &\quad \times 1,80 km \end{aligned}$$

$$Z0 = 0,50832 + j 2,88594\Omega$$

Kemudian hasil nilai diatas dapat kita misalkan pada titik gangguan yang terjadi yaitu (0%, 25%, 50%, 75%, 100%) dari panjangnya jaringan yaitu 1,80 km, maka

dapat kita ketahui bahwa besarnya nilai impedansi penyulang yaitu:

- a. Impedansi penyulang positif dan negative

Tabel 4.3 Tabel Perhitungan Impedansi Penyulang Positif dan Negatif

Jarak (km)	Perhitungan	Impedansi penyulang Z1&Z2
0	0% x (0,24192 + j 0,56844	0
0,45	25% x (0,24192 + j 0,56844	0,108864 + j 0,255798 Ω
0,9	50% x (0,24192 + j 0,56844	0,217728 + j 0,511596 Ω
1,35	75% x (0,24192 + j 0,56844	0,326592 + j 0,767394 Ω
1,80	100% x (0,24192 + j 0,56844	0,435456 + j 1,023192 Ω

- b. Impedansi penyulang urutan nol

Tabel 4.4 Tabel Perhitungan Impedansi Penyulang Urutan Nol

Jarak (km)	Perhitungan	Impedansi penyulang Z0
0	0% x (0,50832 + j 2,88594)	0
0,45	25% x (0,50832 + j 2,88594)	0,228744 + j 1,298673 Ω
0,9	50% x (0,50832 + j 2,88594)	0,457488 + j 2,597346 Ω
1,35	75% x (0,50832 + j 2,88594)	0,686232 + j 3,896019 Ω
1,80	100% x (0,50832 + j 2,88594)	0,914976 + j 5,194692 Ω

6. Menghitung Impedansi Ekuivalen Jaringan

Perhitungan $Z1eq = Z2eq$

menggunakan rumus :

$$\begin{aligned} Z1eq = Z2e1 &= Z_{s1} + Z_{t1} + Z_1\text{penyulang} \\ &= j 0,097 + j 0,825 + Z_1\text{penyulang} \\ &= j 0,922 + Z_1\text{penyulang} \end{aligned}$$

Maka impedansi ekuivalen $Z1eq$ dan $Z2eq$ yaitu

Tabel 4.5 Tabel Perhitungan Impedansi Ekuivalen $Z1eq$ dan $Z2eq$

Jarak (km)	Perhitungan	Impedansi ekivalen Z_{1eq} dan Z_{2eq}
0	$0 + j 0,922$	$0 + j 0,922$
0,45	$0,108864 + j 0,255798 + j 0,922$	$0,108864 + j 1,177798$
0,9	$0,217728 + j 0,511596 + j 0,922$	$0,217728 + j 1,433596$
1,35	$0,326592 + j 0,767394 + j 0,922$	$0,326592 + j 1,689394$
1,80	$0,435456 + j 1,023192 + j 0,922$	$0,435456 + j 1,945192$

Perhitungan nilai Z_{0eq} dapat dicari menggunakan rumus sebagai berikut

$$\begin{aligned}
 Z_{0eq} &= Z_{t0} + 3Rn + Z_{0penyulang} \\
 &= j 8,25 + (3 \times 0,3) + Z_{0penyulang} \\
 &= 0,9 + j 8,25 + Z_{0penyulang}
 \end{aligned}$$

Maka impedansi ekuivalen Z_{0eq} yaitu

Tabel 4.6 Tabel Perhitungan Impedansi Ekivalen Z_{0eq}

Jarak (km)	Perhitungan	Impedansi ekivalen Z_{0eq}
0	$0 + 0,9 + j 8,25$	$0,9 + j 8,25$
0,45	$0,228744 + j 1,298673 + 0,9 + j 8,25$	$1,128744 + j 9,548673$
0,9	$0,457488 + j 2,597346 + 0,9 + j 8,25$	$1,357488 + j 10,847346$
1,35	$0,686232 + j 3,896019 + 0,9 + j 8,25$	$1,586232 + j 12,146019$
1,80	$0,914976 + j 5,194692 + 0,9 + j 8,25$	$1,814976 + j 13,444692$

7. Menghitung Arus Hubung Singkat

Menghitung arus hubung singkat 3 fasa, 2 fasa, dan 1 fasa ke tanah menggunakan perhitungan sebagai berikut

a. Gangguan Hubung Singkat 3 Fasa

Nilai arus hubung singkat 3 fasa dapat ditentukan menggunakan rumus sebagai berikut:

$$I = \frac{V}{Z}$$

dimana :

I = Arus gangguan hubung singkat

V= Tegangan fasa-netral system 20 kV

$$(V_{ph}) = \frac{20000}{\sqrt{3}}$$

Z= Impedansi urutan positif (Z_{1eq})

Jadi, arus gangguan hubung singkat 3 fasa adalah sebagai berikut :

$$\begin{aligned} I &= \frac{V_{ph}}{Z_{1eq}} \\ &= \frac{\frac{20000}{\sqrt{3}}}{Z_{1eq}} \\ &= \frac{11547}{Z_{1eq}} \end{aligned}$$

Titik Gangguan pada Panjang penyulang 0%

$$\begin{aligned} I &= \frac{\frac{20000}{\sqrt{3}}}{0 + 0,922} \\ &= \frac{11547}{0,922} \\ &= 12523,86 \text{ A} \end{aligned}$$

Titik Gangguan pada Panjang penyulang 25%

$$\begin{aligned} I &= \frac{\frac{20000}{\sqrt{3}}}{0,108864 + j 1,177798} \\ &= \frac{11547}{1,1828} \\ &= 9762,42 \text{ A} \end{aligned}$$

Titik Gangguan pada Panjang penyulang 50%

$$\begin{aligned} I &= \frac{\frac{20000}{\sqrt{3}}}{0,217728 + j 1,433596} \\ &= \frac{11547}{1,45} \\ &= 7963,44 \text{ A} \end{aligned}$$

Titik gangguan pada Panjang penyulang 75%

$$\begin{aligned} I &= \frac{\frac{20000}{\sqrt{3}}}{0,326592 + j 1,689394} \\ &= \frac{11547}{1,7207} \\ &= 6710,64 \text{ A} \end{aligned}$$

Titik Gangguan pada Panjang prnyulang 100%

$$\begin{aligned} I &= \frac{\frac{20000}{\sqrt{3}}}{0,435456 + j 1,945192} \\ &= \frac{11547}{1,9933} \\ &= 5792,9 \text{ A} \end{aligned}$$

Tabel 4.7 Tabel Arus Gangguan Hubung Singkat 3 Fasa

Panjang Jaringan	Arus Gangguan Hubung Singkat 3 Fasa
0%	12523,86 A
25%	9762,42 A
50%	7963,44 A

75%	6710,64 A
100%	5792,9 A

b. Gangguan Hubung Singkat 2 Fasa

Nilai arus hubung singkat 2 fasa dapat ditentukan menggunakan rumus sebagai berikut:

$$I = \frac{V}{Z}$$

dimana :

I = Arus gangguan hubung singkat

V= Tegangan fasa-netral system 20 kV

$$(V_{ph}) = \frac{20000}{\sqrt{3}}$$

Z= Impedansi urutan positif (Z_{1eq})

Jadi, arus gangguan hubung singkat 2 fasa adalah sebagai berikut :

$$I = \frac{V_{ph} - ph}{Z_{1eq} + Z_{2eq}}$$

$$= \frac{20000}{2 \times Z_{1eq}}$$

Titik Gangguan pada Panjang penyulang 0%

$$I = \frac{20000}{2 \times (0 + j 0,922)}$$

$$= \frac{20000}{1,844}$$

$$= 10845,98 A$$

Titik Gangguan pada Panjang penyulang 25%

$$I = \frac{20000}{2 \times (0,108864 + j 1,177798)}$$

$$= \frac{20000}{2,3656}$$

$$= 8454,51 A$$

Titik Gangguan pada Panjang penyulang 50%

$$I = \frac{20000}{2 \times (0,217728 + j 1,433596)}$$

$$= \frac{20000}{2,9}$$

$$= 6896,55 A$$

Titik Gangguan pada Panjang penyulang 75%

$$I = \frac{20000}{2 \times (0,326592 + j 1,689394)}$$

$$= \frac{20000}{3,4414}$$

$$= 5811,58 A$$

Titik Gangguan pada Panjang penyulang

100%

$$I = \frac{20000}{2 \times (0,435456 + j 1,945192)}$$

$$= \frac{20000}{3,9866}$$

$$= 5016,8 A$$

Tabel 4.8 Tabel Arus Gangguan Hubung Singkat 2 Fasa

Panjang Jaringan	Arus Gangguan Hubung Singkat 2 Fasa
0%	10845,98 A
25%	8454,51 A
50%	6896,55 A
75%	5811,58 A
100%	5016,8 A

c. Gangguan Hubung Singkat 1 Fasa ke Tanah

Nilai arus hubung singkat 1 fasa dapat ditentukan menggunakan rumus sebagai berikut:

$$I = \frac{V}{Z}$$

dimana :

I = Arus gangguan hubung singkat

V= Tegangan fasa-netral system 20 kV

$$(V_{ph}) = \frac{20000}{\sqrt{3}}$$

Z= Impedansi urutan positif (Z_{1eq})

Jadi, arus gangguan hubung singkat 1 fasa adalah sebagai berikut :

$$\begin{aligned} I &= \frac{3 \times V_{ph}}{Z_{1eq} + Z_{2eq} + Z_{0eq}} \\ &= \frac{3 \times \frac{20000}{\sqrt{3}}}{2 \times Z_{1eq} + Z_{0eq}} \\ &= \frac{34641,016}{2 \times Z_{1eq} + Z_{0eq}} \end{aligned}$$

Titik Gangguan pada Panjang penyulang 0%

$$\begin{aligned} I &= \frac{3 \times \frac{20000}{\sqrt{3}}}{2 \times (0 + j 0,922) + (0,9 + j 8,25)} \\ &= \frac{34641,016}{1,844 + j 8,2989} \\ &= 3415,29 A \end{aligned}$$

Titik Gangguan pada Panjang penyulang 25%

$$\begin{aligned} I &= \frac{3 \times \frac{20000}{\sqrt{3}}}{2 \times (0,108864 + j 1,177798) + (1,128744 + j 9,548673)} \\ &= \frac{34641,016}{2,3656 + j 9,6152} \end{aligned}$$

$$= 2891,37 A$$

Titik Gangguan pada Panjang penyulang 50%

$$\begin{aligned} I &= \frac{3 \times \frac{20000}{\sqrt{3}}}{2 \times (0,217728 + j 1,433596) + (1,357488 + j 10,847346)} \\ &= \frac{34641,016}{2,9 + j 10,9320} \\ &= 2504,41 A \end{aligned}$$

Titik Gangguan pada Panjang penyulang 75%

$$\begin{aligned} I &= \frac{3 \times \frac{20000}{\sqrt{3}}}{2 \times (0,326592 + j 1,689394) + (1,586232 + j 12,146019)} \\ &= \frac{34641,016}{3,4414 + j 12,2492} \\ &= 2207,75 A \end{aligned}$$

Titik Gangguan pada Panjang penyulang 100%

$$\begin{aligned} I &= \frac{3 \times \frac{20000}{\sqrt{3}}}{2 \times (0,435456 + j 1,945192) + (1,814976 + j 13,444692)} \\ &= \frac{34641,016}{3,9866 + j 13,5666} \\ &= 1973,48 A \end{aligned}$$

Tabel 4.9 Tabel Arus Gangguan Hubung Singkat 1 Fasa ke Tanah

Panjang Jaringan	Arus Gangguan Hubung Singkat 1 Fasa ke Tanah
0%	3415,29 A
25%	2891,37 A
50%	2504,41 A
75%	2207,75 A
100%	1973,48 A

8. Setting OCR dan GFR disisi penyulang 20 kv

a. Perhitungan Nilai Setting Relay OCR

1) Setelan arus

Diketahui:

$$I_{beban} = 480 \text{ A}$$

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

$$\begin{aligned} I_{set \text{ primer}} &= 1,1 \times I_{beban} \\ &= 1,1 \times 480 \text{ A} \\ &= 528 \text{ A} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} I_{set \text{ sekunder}} &= I_{set \text{ primer}} \times \frac{1}{\text{Rasio CT}} \\ &= 528 \text{ A} \times \frac{1}{400/1} \text{ A} \\ &= 528 \text{ A} \times \frac{1}{400} \text{ A} \\ &= 1,32 \text{ A} \end{aligned}$$

2) Setelan TMS (Time Multilexer Setting)

Arus gangguan hubung singkat 3 fasa pada sisi penyulang yang diambil adalah pada titik lokasi gangguan 0% dari Panjang jaringan dengan waktu ketetapan $t=0,1$ detik. Maka, dapat diketahui nilai TMS sebagai berikut:

$$\begin{aligned} t &= \frac{0,14 \times TMS}{\left(\frac{I_{fault}}{I_{set}}\right)^{0,02} - 1} \\ TMS &= \frac{t \times \left(\frac{I_{fault}}{I_{set}}\right)^{0,02} - 1}{0,14} \\ &= \frac{0,3 \times \left(\left(\frac{I \text{ Gangguan hubung singkat 3 fasa}}{I_{set}}\right)^{0,02} - 1\right)}{0,14} \\ &= \frac{0,3 \times \left(\left(\frac{12523,86}{528}\right)^{0,02} - 1\right)}{0,14} \end{aligned}$$

$$TMS = 0,14$$

b. Perhitungan Nilai Setting Relay GFR (Gangguan Tanah)

1. Setelan Arus

Untuk mencari nilai setting primer relay gangguan tanah dengan cara 10% x arus gangguan 1 fasa ke tanah terkecil. Dimana arus gangguan terkecil terletak di lokasi gangguan 100% maka:

$$\begin{aligned} I_{set \text{ primer}} &= 10\% \times \text{Arus Gangguan 1 Fasa (titik 100\%)} \\ &= 10\% \times 1973,48 \\ &= 197,34 \text{ A} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} I_{set \text{ sekunder}} &= I_{set \text{ primer}} \times \frac{1}{\text{Rasio CT}} \\ &= 197,34 \times \frac{1}{400/1} \\ &= 197,34 \times \frac{1}{400} = 0,49 \text{ A} \end{aligned}$$

2. Setelan TMS (Time Multilexer Setting)

Sama dengan sebelumnya ketetapan t yang digunakan sebesar 0,3 sehingga besarnya nilai TMS yaitu

$$\begin{aligned} t &= \frac{0,14 \times TMS}{\left(\frac{I_{fault}}{I_{set}}\right)^{0,02} - 1} \\ TMS &= \frac{t \times \left(\frac{I_{fault}}{I_{set}}\right)^{0,02} - 1}{0,14} \\ &= \frac{0,3 \times \left(\left(\frac{I \text{ Gangguan hubung singkat 3 fasa}}{I_{set}}\right)^{0,02} - 1\right)}{0,14} \end{aligned}$$

$$= \frac{0,3 \times \left(\frac{3415,29}{197,34}\right)^{0,02} - 1}{0,14}$$

$$TMS = 0.125$$

Tabel 4.10 Tabel Setting Hasil Perhitungan
Penyulang

Relay Penyulang	Setting Hasil Perhitungan	
OCR	TMS	0,14
	Rasio CT	400/1
	I set primer	528 A
	I set sekunder	1,32 A
GFR	TMS	0,125
	Rasio CT	400/1
	I set primer	197,34 A
	I set sekunder	0,49 A

9. Setting Relay Sisi Incoming 20kV

Berbeda dengan sisi penyulang, pada sisi incoming 20kV diperlukan nilai arus nominal dalam menentukan setting relay nya Data yang diperoleh:

Kapastias transformator : 60 MVA
Tegangan transformator : 150/20 kV
Impedansi : 12,4%

Rasio CT : 2000/1 A

a. Setting Relay Arus lebih OCR

1) Setelan Arusnominal trafo pada sisi 20 kV

$$I_{nominal(sisi20kV)} = \frac{kVA}{kV\sqrt{3}}$$

$$= \frac{60000}{20\sqrt{3}}$$

$$= 1732,05 A$$

$$I_{set primer} = 1,1 \times I_{nominal}$$

$$= 1,1 \times 1732,05$$

$$= 1905,25 A$$

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

$$= 1905,25 \times \frac{1}{2000/1}$$

$$= 1905,25 \times \frac{1}{2000}$$

$$= 0,9526 A$$

2) Setelan TMS (Time Multilexer Setting)

Perbedaan yang signifikan antara penentuan setting relay sisi penyulang dengan incoming adalah pada setelan TMS nya dimana untuk sisi incoming waktu kerja relay yang digunakan waktu kerja sisi penyulang (awal)+0,4 detik, sehingga besarnya nilai waktu kerja relay incoming adalah

$$T incoming = 0,3 + 0,4 = 0,7$$

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

$$= \frac{0,7 \times \left(\frac{I_{Gangguan\ hubung\ singkat\ 3\ fasa}}{I_{set}}\right)^{0,02} - 1}{0,14}$$

$$= \frac{0,7 \times \left(\frac{12523,86}{1905,25}\right)^{0,02} - 1}{0,14}$$

$$TMS = 0,191$$

b. Relay Gangguan Tanah GFR

1) Setelan Arus

Agar relay gangguan tanah sisi incoming lebih peka atau cepat merasakan gangguan sesuai dengan sifatnya sebagai backup setelah relay sisi penyulang maka dalam menentukan setting nya dibuat lebih kecil yaitu 8% x arus gangguan 1 fasa ke tanah terkecil yaitu pada lokasi 100%

$$I_{set\ primer} = 8\% \times gangguan\ di\ 100\% \text{ panjang penyulang}$$

$$= 8\% \times 1973,48 = 157,878\ A$$

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

$$= 157,878 \times \frac{1}{400/1}\ A$$

$$= 157,878 \times \frac{1}{400}\ A$$

$$= 0,394\ A$$

2) Setelan TMS (Time Multilexer Setting)

Nilai waktu kerja relay yang digunakan sisi incoming sebesar waktu kerja relay

penyulang (awal atau hilir) + 0,4 detik, sehingga

$$T\ incoming = 0,3+0,4=0,7\ \text{detik}$$

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

$$= \frac{0,7 \times \left(\frac{I_{Gangguan\ hubung\ singkat\ 3\ fasa}}{I_{set}}\right)^{0,02} - 1}{0,14}$$

$$= \frac{0,7 \times \left(\frac{3415,29}{157,878}\right)^{0,02} - 1}{0,14}$$

$$TMS = 0,317$$

Tabel 4.11 Tabel Setting Hasil Perhitungan Incoming

Relay Incoming	Setting Hasil Perhitungan	
OCR	TMS	0,191
	Rasio CT	2000/1
	I set primer	1905,25 A
	I set sekunder	0,9526 A
GFR	TMS	0,317
	Rasio CT	2000/1
	I set primer	157,878 A
	I set sekunder	0,394 A

10. Pemeriksaan Waktu Kerja Relay

Relay yang digunakan memiliki karakteristik standart inverse maka besarnya

nilai pemeriksaan waktu kerja relay disetiap titik lokasi gangguan 0%, 25%, 50%, 75%, 100% dapat diuraikan dengan rumus:

$$t = \frac{0,14 \times TMS}{\left(\frac{Ifault}{Iset}\right)^{0,02} - 1}$$

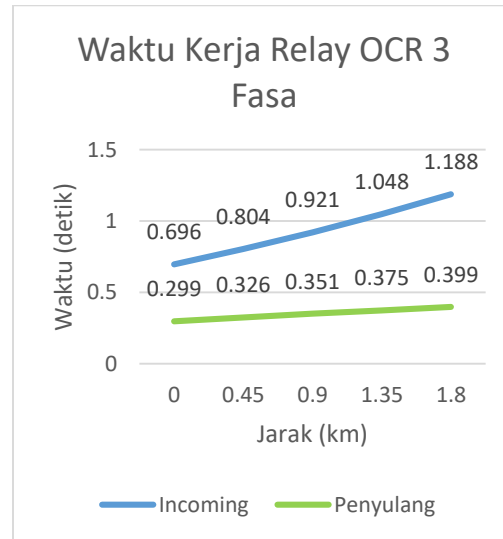
11. Pemeriksaan Waktu Kerja Relay OCR pada Gangguan 3 Fasa

Tabel 4.12 Perhitungan Pemeriksaan Waktu Kerja Relay OCR pada Gangguan 3 Fasa

Pemeriksaan Waktu Kerja Relay OCR pada Gangguan 3 Fasa		
Lokasi	Sisi Penyulang	Sisi Incoming
0%	$t = \frac{0,14 \times 0,14}{\left(\frac{12523,86}{528}\right)^{0,02} - 1} = 0,299$	$t = \frac{0,14 \times 0,191}{\left(\frac{12523,86}{1905,25}\right)^{0,02} - 1} = 0,696$
25%	$t = \frac{0,14 \times 0,14}{\left(\frac{9762,42}{528}\right)^{0,02} - 1} = 0,326$	$t = \frac{0,14 \times 0,191}{\left(\frac{9762,42}{1905,25}\right)^{0,02} - 1} = 0,804$
50%	$t = \frac{0,14 \times 0,14}{\left(\frac{7963,44}{528}\right)^{0,02} - 1} = 0,351$	$t = \frac{0,14 \times 0,191}{\left(\frac{7963,44}{1905,25}\right)^{0,02} - 1} = 0,921$
75%	$t = \frac{0,14 \times 0,14}{\left(\frac{6710,64}{528}\right)^{0,02} - 1} = 0,375$	$t = \frac{0,14 \times 0,191}{\left(\frac{6710,64}{1905,25}\right)^{0,02} - 1} = 1,048$
100%	$t = \frac{0,14 \times 0,14}{\left(\frac{5792,9}{528}\right)^{0,02} - 1} = 0,399$	$t = \frac{0,14 \times 0,191}{\left(\frac{5792,9}{1905,25}\right)^{0,02} - 1} = 1,188$

Tabel 4.13 Hasil Perhitungan Pemeriksaan Waktu Kerja Relay OCR Gangguan 3 Fasa

Lokasi Gangguan (%)	Waktu Kerja Relay Incoming (detik)	Waktu Kerja Relay Penyulang (detik)	Selisi Waktu (detik)
0	0,696	0,299	0,397
25	0,804	0,326	0,478
50	0,921	0,351	0,57
75	1,048	0,375	0,673
100	1,188	0,399	0,789



Gambar 4.1 Grafik Waktu Kerja Relay OCR 3 Fasa

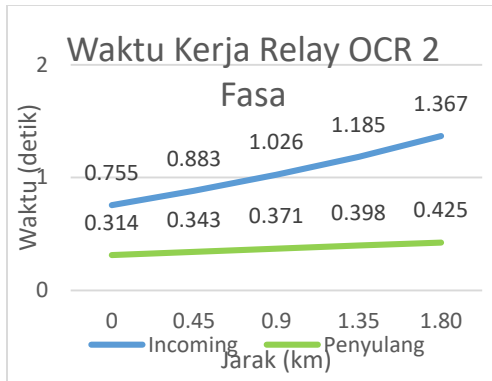
12. Pemeriksaan Waktu Kerja Relay OCR pada Gangguan 2 Fasa

Tabel 4.14 Perhitungan Pemeriksaan Waktu Kerja Relay OCR pada Gangguan 2 Fasa

Pemeriksaan Waktu Kerja Relay OCR pada Gangguan 2 Fasa		
Lokasi	Sisi Penyulang	Sisi Incoming
0%	$t = \frac{0,14 \times 0,14}{\left(\frac{10845,98}{528}\right)^{0,02} - 1} = 0,314$	$t = \frac{0,14 \times 0,191}{\left(\frac{10845,98}{1905,25}\right)^{0,02} - 1} = 0,755$
25%	$t = \frac{0,14 \times 0,14}{\left(\frac{8454,51}{528}\right)^{0,02} - 1} = 0,343$	$t = \frac{0,14 \times 0,191}{\left(\frac{8454,51}{1905,25}\right)^{0,02} - 1} = 0,883$
50%	$t = \frac{0,14 \times 0,14}{\left(\frac{6896,55}{528}\right)^{0,02} - 1} = 0,371$	$t = \frac{0,14 \times 0,191}{\left(\frac{6896,55}{1905,25}\right)^{0,02} - 1} = 1,026$
75%	$t = \frac{0,14 \times 0,14}{\left(\frac{5811,58}{528}\right)^{0,02} - 1} = 0,398$	$t = \frac{0,14 \times 0,191}{\left(\frac{5811,58}{1905,25}\right)^{0,02} - 1} = 1,185$
100%	$t = \frac{0,14 \times 0,14}{\left(\frac{5016,8}{528}\right)^{0,02} - 1} = 0,425$	$t = \frac{0,14 \times 0,191}{\left(\frac{5016,8}{1905,25}\right)^{0,02} - 1} = 1,367$

Tabel 4.15 Hasil Perhitungan Pemeriksaan Waktu Kerja Relay OCR Gangguan 2 Fasa

Pemeriksaan Waktu Kerja Relay OCR Gangguan 2 Fasa				
Lokasi Gangguan (%)	Jarak (km)	Waktu Kerja Relay Incoming (detik)	Waktu Kerja Relay Penyulang (detik)	Selish Waktu (detik)
0	0	0,755	0,314	0,441
25	0,45	0,883	0,343	0,54
50	0,9	1,026	0,371	0,655
75	1,35	1,185	0,398	0,787
100	1,80	1,367	0,425	0,942



Gambar 4.2 Grafik Waktu Kerja Relay OCR 2 Fasa

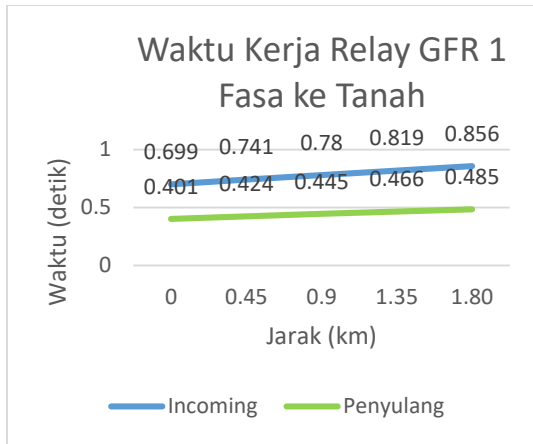
13. Pemeriksaan Waktu Kerja Relay GFR pada Gangguan 1 Fasa ke Tanah

Tabel 4.16 Perhitungan Pemeriksaan Waktu Kerja Relay GFR pada Gangguan 1 Fasa ke Tanah

Pemeriksaan Waktu Kerja Relay GFR pada Gangguan 1 Fasa ke Tanah		
Lokasi	Sisi Penyulang	Sisi Incoming
0%	$t = \frac{0,14 \times 0,125}{\left(\frac{3415,29}{197,34}\right)^{0,02} - 1} = 0,298$	$t = \frac{0,14 \times 0,317}{\left(\frac{3415,29}{157,878}\right)^{0,02} - 1} = 0,699$
25%	$t = \frac{0,14 \times 0,125}{\left(\frac{2891,37}{197,34}\right)^{0,02} - 1} = 0,317$	$t = \frac{0,14 \times 0,317}{\left(\frac{2891,37}{157,878}\right)^{0,02} - 1} = 0,741$
50%	$t = \frac{0,14 \times 0,125}{\left(\frac{2504,41}{197,34}\right)^{0,02} - 1} = 0,335$	$t = \frac{0,14 \times 0,317}{\left(\frac{2504,41}{157,878}\right)^{0,02} - 1} = 0,78$
75%	$t = \frac{0,14 \times 0,125}{\left(\frac{2207,75}{197,34}\right)^{0,02} - 1} = 0,353$	$t = \frac{0,14 \times 0,317}{\left(\frac{2207,75}{157,878}\right)^{0,02} - 1} = 0,819$
100%	$t = \frac{0,14 \times 0,125}{\left(\frac{1973,48}{197,34}\right)^{0,02} - 1} = 0,371$	$t = \frac{0,14 \times 0,317}{\left(\frac{1973,48}{157,878}\right)^{0,02} - 1} = 0,856$

Tabel 4.17 Hasil Perhitungan Pemeriksaan Waktu Kerja Relay GFR Gangguan 1 Fasa ke Tanah

Pemeriksaan Waktu Kerja Relay GFR Gangguan 1 Fasa ke Tanah				
Lokasi Gangguan (%)	Jarak (km)	Waktu Kerja Relay Incoming (detik)	Waktu Kerja Relay Penyulang (detik)	Selis Waktu (detik)
0	0	0,699	0,298	0,401
25	0,45	0,741	0,317	0,424
50	0,9	0,78	0,335	0,445
75	1,35	0,819	0,353	0,466
100	1,80	0,856	0,371	0,485



Gambar 4.3 Grafik Waktu Kerja Relay GFR 1 Fasa ke Tanah

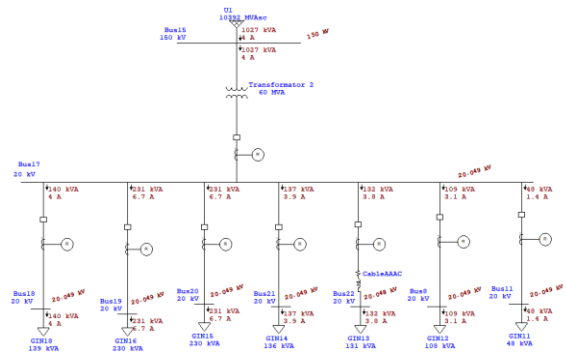
14. Perbandingan Data Setting Terpasang Dengan Data Setting Terhitung

Tabel 4.18 Perbandingan Data Setting Terpasang Dengan Data Setting Terhitung

Nama Relay		Relay Terpasang		Relay Terhitung	
		Incoming	Penyulang	Incoming	Penyulang
OCRS	TM S	0.23	0.25	0.191	0.14
	Rasio CT	2000:1	400:1	2000:1	400:1
	pickup (A)	1.04	1.2	0.95	1.32
GFR	TM S	0.43	0.33	0.31	0.12

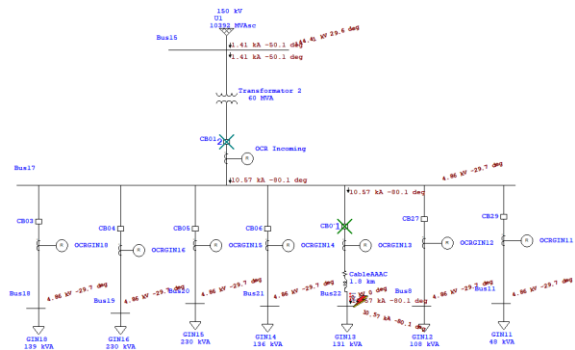
Rasio CT	2000:1	400:1	2000:1	400:1
pickup (A)	0.35	0.5	0.39	0.49

15. Simulasi ETAP Pada Saat Belum Terjadi Gangguan



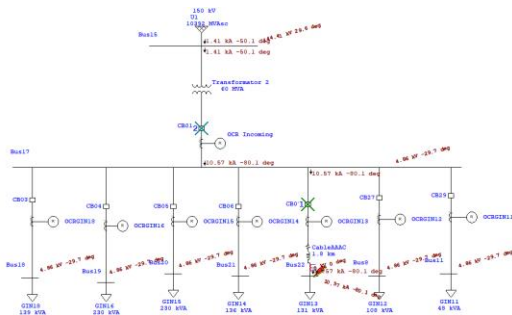
Gambar 4.4 Simulasi ETAP saat belum ada gangguan

16. Simulasi ETAP Saat Terjadi Gangguan Setting Terpasang



Gambar 4.7 Simulasi ETAP saat terjadi gangguan setting terpasang

17. Simulasi ETAP Saat Terjadi Gangguan Setting Terhitung



Gambar 4.5 Simulasi ETAP saat terjadi gangguan setting terhitung

Pada gambar 4.8 pada jaringan GJN 13 diberi gangguan dengan menggunakan data setting terhitung hasilnya sama. Hal ini dikarenakan setting terpasang dan setting terhitung hasilnya terdapat perbedaan yang tidak signifikan.

V. Kesimpulan dan Saran

5.1. Kesimpulan

Menurut data data yang telah didapatkan dari Gardu Induk Gejayan 150 kV dan yang telah diolah maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Waktu kerja relay sisi penyulang lebih cepat bekerja dibandingkan relay sisi incoming. Perbedaan waktu ini dipengaruhi oleh panjang pendeknya titik lokasi gangguan, jadi semakin jauh titik gangguan maka selisih waktu kerja relaynya akan semakin besar.

2. Arus hubung singkat yang paling besar yaitu arus hubung singkat 3 fasa pada titik lokasi gangguan 0% sebesar 12523,86 Ampere, kemudian diikuti arus hubung singkat 2 fasa di titik gangguan 0% sebesar 10845,98 Ampere dan kemudian arus hubung singkat 1 fasa pada titik lokasi gangguan 0% yaitu sebesar 3415,29 Ampere

3. Berdasarkan hasil perhitungan rumus dengan hasil data terpasang terdapat selisih atau perbedaan yang tidak signifikan
4. Pada saat terjadi arus hubung singkat antar fasa maka secara otomatis relay OCR (Over Current Relay) akan mendeteksi adanya gangguan arus lebih yang melebihi batas dari setting yang sudah ditentukan. Sedangkan jika terjadi gangguan hubung singkat fase ke tanah maka yang akan aktif yaitu relay GFR (Ground Fault Relay) dan relay ini secara otomatis akan memutus jaringan.

5.2. Saran

1. Untuk menentukan setting relay OCR (Over Current Relay) dan GFR (Ground Fault Relay) dengan cara menggunakan perhitungan manual harus dilakukan dengan teliti agar tidak terjadi kesalahan dalam perhitungan sehingga tidak

mempengaruhi hasil akhir dari perhitungan.

2. Diperlukan pengecekan kembali relay sesuai jadwal rutin agar dapat mengetahui apakah relay tersebut masih dapat bekerja dengan baik atau tidak.

DAFTAR PUSTAKA

Afif Syafii Maarif. 2018. *Studi Dan Analisis Gangguan Terhadap Kinerja Sistem Proteksi Pada Gardu Induk 150 KV Bantul*. Tugas Akhir Pada Jurusan Teknik Elektro Universitas Muhammadiyah Yogyakarta

Hafid Mahmudi. 2016. *Perancangan Dan Simulasi Penambahan Relay OCR dan Relay GFR Pada Diameter 1 By Line GIS PLTU 2 Jateng Adipala Cilacap*. Tugas Akhir Pada Jurusan Teknik Elektro Universitas Gajah Mada Yogyakarta

Muhammad Hanafi. 2017. *Seting Over Current Relay (OCR) Pada Incoming Feeder, Outgoing Feeder Dan Recloser Di PT. PLN (Persero) Rayon Surakarta Kota*. Tugas Akhir Pada Jurusan Teknik Elektro Universitas Gajah Mada Yogyakarta

Rifa Setiawan. 2018. *Analisa Koordinasi Over Current Relay (OCR) Dan*

Ground Fault Relay (GFR) Di Sistem Proteksi Gardu Induk 150 KV Kentungan Sleman. Tugas Akhir Pada Jurusan Teknik Elektro Universitas Muhammadiyah Yogyakarta

Syahputra, R. 2016. “Transmisi dan Distribusi Tenaga Listrik”, LP3M UMY, Yogyakarta

Syahputra, R. 2015. “Teknologi dan Aplikasi Elektromagnetik”, LP3M UMY, Yogyakarta

Yoga Aditama. 2016. *Analisis Waktu Kerja Over Current Relay (OCR) Incoming Dan Outgoing Feeder WG-3 Di PLTA Wonogiri*. Tugas Akhir Pada Jurusan Teknik Elektro Universitas Gajah Mada Yogyakarta