

**ANALISA SISTEM PROTEKSI PMT DENGAN RELAY CB
(CIRCUIT BREAKER) DI GARDU INDUK GONDANGREJO
150kV**



**Disusun sebagai salah satu syarat menyelesaikan Program Studi Strata
I pada Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik**

Oleh:

AHMAD AINUN AZIIS

D 400 15 0085

**PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNIK UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH
SURAKARTA**

2019

HALAMAN PERSETUJUAN

ANALISA SISTEM PROTEKSI PMT DENGAN RELAY CB(CIRCUIT BREAKER) DI
GARDU INDUK 150KV GONDANGREJO

PUBLIKASI ILMIAH

oleh

AHMAD AINUN AZIIS
D 400 150 085

Telah diperiksa dan disetujui untuk diuji oleh :

Dosen pembimbing



UMAR, S.T.M.T

NIK : 731

HALAMAN PENGESAHAN
**ANALISA SISTEM PROTEKSI PMT DENGAN RELAY CB(CIRCUIT
BREAKER) DI GARDU INDUK 150KV GONDANGREJO**

Oleh

AHMAD AINUN AZIIS
D 400 150 0085

Telah dipertahankan di depan Dewan Penguji
Fakultas Teknik Elektro
Universitas Muhammadiyah Surakarta
Pada hari Selasa, 13 Agustus 2019
Dan dinyatakan telah memenuhi syarat

Dewan Penguji:

1. Umar , S.T,M.T
(Ketua dewan penguji)
2. Jatmiko, Ir, M.T
(Anggota 1 dewan penguji)
3. Tindyo Prasetyo, S.T
(Anggota 2 dewan penguji)

()
()
()

Dekan,



Ir. Sri Sunarjono, M.T., PhD.

NIK . 682

PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa dalam naskah publikasi ini tidak terdapat karya yang pernah diajukan untuk memperoleh gelar kesarjanaan di suatu perguruan tinggi dan sepanjang sepengetahuan saya juga tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau di terbitkan orang lain, kecuali secara tertulis diacu dalam naskah dan disebutkan dalam daftar pustaka.

Apabila kelak terbukti ada ketidakbenaran dalam pernyataan saya di atas, maka akan saya pertanggungjawabkan sepenuhnya.

Surakarta, 13 Agustus 2019

Penulis



AHMAD AINUN AZIS

D 400 150 0003

ANALISA SISTEM PROTEKSI PMT DENGAN RELAY CB (CIRCUIT BREAKER) DI GARDU INDUK 150KV GONDANGREJO

Abstrak

Gangguan yang disebabkan oleh adanya hubung singkat menimbulkan banyak kerugian, kerugian pada sistem transmisi kelistrikan maupun kerugian di pihak konsumen energi listrik. Salah satu tujuan untuk mengatasi gangguan ini adalah dengan cara memasang peralatan pengaman pada PMT. Relay arus lebih merupakan relay proteksi yang bekerja dengan Pemutus Tenaga (Circuit Breaker). Gangguan hubung singkat fasa ke tanah dan fasa-fasa menimbulkan arus gangguan hubung singkat yang besarnya melebihi setting arus pada relay arus lebih, sehingga relay arus lebih memicu Pemutus Tenaga bekerja sesuai dengan setting waktu yang diterapkan, sehingga resiko kerusakan pada sistem kelistrikan dapat dihindar. Metode yang digunakan adalah perhitungan manual lalu pencocokan data yang ada di lapangan, kemudian hasil dibuat perbandingan apakah relay masih bekerja dengan baik atau harus melakukan perbaikan.

Kata Kunci: arus hubung singkat, setting relay, impedansi

Abstract

Short circuit caused a lot of detriments, in the electrical transmission system and consumers. This fault could be eliminated by using electrical safety equipments that put in PMT. Over current relay was one of the electrical safety equipments that operated with Circuit Breaker (CB). The fault caused by short circuit would produced electrical current that exceed of current relay setting and time setting has been reach by the protection relay, then protection relay will send trip signal to the Circuit Breaker changed from Normally Close (NC) Condition to Normally Open (NO) condition. This new condition would eliminated risks in the electrical systems. The method used is a manual calculation and then matching the existing data in the field, then the results are made to compare whether the relay is still working well or must make repairs

Keywords: over current relay, relay setting, impedance

1. PENDAHULUAN

Permintaan masyarakat terhadap listrik semakin hari semakin bertambah. Dibutuhkan alat atau perlengkapan kelistrikan yang handal untuk memenuhi permintaan masyarakat akan listrik, sehingga perencanaan terhadap pengawasan dan pemeliharaan peralatan listrik guna meningkatkan kehadalan sangat mutlak dibutuhkan.

Relai *Circuit Breaker* (CB) merupakan proteksi yang bekerja apabila terjadi kegagalan pemutusan PMT saat terjadi gangguan. Pada sistem gardu induk 1 breaker, relai CB akan mentripkan semua PMT yang terhubung ke busbar yang sama serta mengirimkan sinyal direct transfer trip ke gardu induk lawan. Kegagalan PMT trip dapat disebabkan oleh kesalahan wiring dari salah satu relai ke *tripping coil* PMT atau oleh kegagalan PMT itu sendiri, sehingga untuk mengatasi kegagalan karena *wiring* biasanya pada tahap awal CB memerintahkan trip ke PMT yang gagal tersebut, baru kemudian ke PMT lainnya.

Suatu sistem proteksi yang berperan penting dalam mengamankan gangguan yang terjadi pada PMT. Sistem proteksi ini harus bekerja secara sensitif, selektif, cepat dan harus stabil untuk gangguan yang terjadi diluar daerah proteksian atau diameter. Sistem transmisi dan distribusi merupakan sistem yang besar dan rumit yang membutuhkan sejumlah besar relai proteksi bekerja satu sama lain untuk menjamin operasi yang aman dan dapat diandalkan secara keseluruhan (Sajad, 2015). Sistem proteksi yang digunakan adalah relai arus lebih (OCR) dan relai gangguan tanah (GFR). Relai arus lebih memainkan peran penting dalam operasi perlindungan sistem distribusi tenaga listrik yaitu peralatan yang mensinyalir adanya arus lebih yang melebihi setting (Tjahjono, 2015). Hal yang perlu diperhatikan dalam *setting* OCR ialah kecepatan, sensitivitas, reliabilitas dan selektivitas (Badekar, 2009).

Relai gangguan tanah atau *Ground Fault Relay* (GFR) pada dasarnya mempunyai prinsip kerja yang sama dengan relai arus lebih atau *Over Current Relay* (OCR), namun memiliki perbedaan dalam kegunaannya. Relai arus lebih

digunakan untuk mendeteksi hubung singkat fasa ke fasa, sedangkan relai gangguan tanah mendeteksi adanya hubung singkat fasa ke tanah.

2.METODE

2.1 Rancangan Penelitian

Sebelum melakukan penelitian, hal berikut yang harus dilakukan:

1) Studi literatur

Tahap satu penulis melakukan studi literature untuk mencari referensi-referensi materi penelitian, permasalahan dan mempelajari materi tersebut dengan cara mencari di buku-buku atau melakukan wawancara dengan narasumber agar menjadi referensi dari penelitian yang di laksanakan.

2) Pengumpulan data

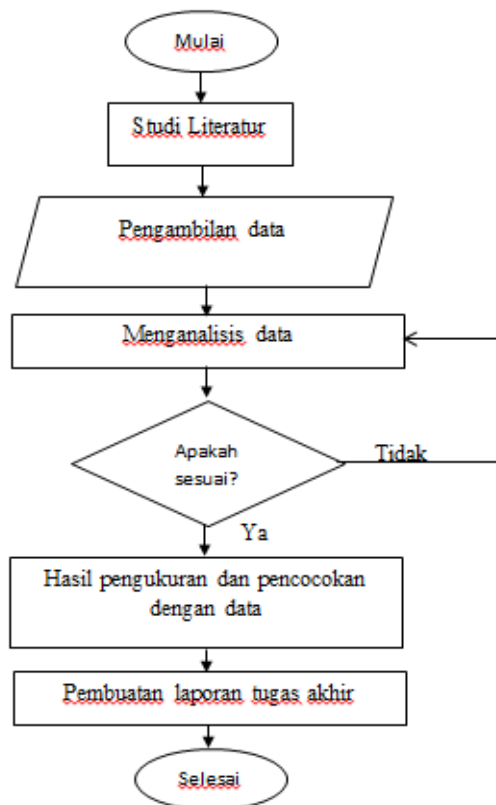
Tahap kedua yaitu mengumpulkan data di PT. PLN (Persero) gardu induk Gondangrejo. Data diperoleh mengikuti prosedur sesuai yang diarahkan instansi, yaitu dengan mengirim proposal dan surat izin dari kampus untuk pengambilan data. Setelah itu menunggu konfirmasi, setelah mendapatkan surat balasan/ sudah di konfirmasi barulah, data dapat diambil sesuai penelitian yang kita lakukan. Data yang perlu diambil yaitu berupa data relay saat terjadi hubung singkat dan hasil arus, impedansi saat tidak bertegangan untuk menentukan *circuit breaker* bekerja. Data pelengkap saat PMT melakukan trip atau terjadi anomali arus yang tidak wajar.

3) Analisis data

Tahap ketiga yaitu analisis data di PT. PLN (Persero) Gardu Induk Gondangrejo. Data-data tersebut akan diubah menjadi bentuk matematis dan dianalisis menggunakan persamaan yang ada. Dalam menganalisis

data yang didapatkan tidak menggunakan metode tertentu, melainkan menggunakan perhitungan biasa dan melakukan analisis perhitungan manual yang bertujuan memastikan kecocokan hasil uji coba dan hasil perhitungan.

2.2 Flowchart penelitian



Gambar 1 Flowchart Penelitian

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil analisis saat terjadinya arus pendek, untuk menentukan nilai arus dan impedansi, sehingga relay *circuit breaker* (CB) bekerja sebelum PMT trip. Tempat data yang diambil adalah di gardu induk Gondangrejo.

3.1 Data transformator tenaga

Tabel 1. *Name plate transformator*

Data transformator tenaga	
Merk	SCHNEIDER
Kapasitas Daya	60 MVA
Tegangan	150/20 Kv
Arus Hubung Singkat	10392
Impedansi	12,12%
Rasio CT	300/1
Arus Nominal	1732,1
Vektor Grup	Yyn0+d

3.2 Perhitungan Koordinasi Rele Arus Lebih (OCR)

Perhitungan arus hubung singkat dipergunakan untuk nilai setelan arus lebih, terutama nilai setelan *Time Multiple Setting* (TMS) dari arus lebih dengan karakteristik jenis *inverse*.

Disamping itu setelah setelan relay diketahui, nilai arus hubung singkat di setiap lokasi gangguan dapat diartikan untuk memeriksa arus relay lebih itu, apakah dinilai selektif atau dirubah penilaian yang memberikan kerja relay lebih selektif (relay bekerja tidak terlalu lama tetapi menghasilkan selektifitas yang baik).

Sedangkan setelan arus dari relay dari relay arus lebih dihitung berdasarkan arus beban yang mengalir dipenyulang atau incoming feeder, yang artinya:

- Untuk rele arus lebih yang terpasang dipenyulang keluar (*Outgoing Feeder*) dihitung berdasarkan arus puncak/ maksimum yang mengalir dipenyulang tersebut.
- Untuk rele arus lebih yang terpasang dipenyulang masuk (*Incoming Feeder*) dihitung berdasarkan arus nominal transformator tenaga.

Sesuai standard setting untuk :

- Persyaratan yang lain adalah penyetelan waktu minimum dari relay arus lebih tidak lebih kecil dari 0,3 detik. Pertimbangan ini supaya relay tidak trip lagi akibat *inrush* dari trafo distribusi yang memang sudah tersambung, sewaktu PMT tersebut dioperasikan. Dapat dilihat skema atau wiring sederhana sebagai berikut:



Diagram of a power system for a fault study. The system consists of a 15 kV source connected to a 0.005 pu impedance, which is connected to a 150 kV busbar. This busbar is connected to a 60 MVA, 150/20 kV transformer. The secondary of the transformer is connected to a 20 kV busbar, which is then connected to a 'Penyulang' (overhead line). A fault, indicated by a lightning bolt symbol, is shown on the 20 kV line.

Gambar 2. Diagram Satu Garis Gangguan Hubung Singkat Trafo 150/20 kV

a. Menghitung V per unit :

$$V_{(pu)} = \frac{\text{kV sebenarnya}}{\text{kV dasar}}$$

$$= \frac{20\text{kV}}{20\text{kV}} = 1$$

$$I_{\text{dasar}} = \frac{VA}{\sqrt{3} \cdot \text{kV}}$$

$$= \frac{6000}{\sqrt{3} \cdot 20} = 1732,1$$

$$Z_{\text{dasar}} = \frac{kV^2}{MVA}$$

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

b. Menghitung impedansi sumber sisi 20kV

$$Z_{\text{sumber}} = \frac{kV^2}{MVA_{hs}}$$

$$= \frac{20^2}{10392} = j0,038$$

$$Z_{pu} = j \frac{Z_{\text{sumber}}}{Z_{\text{dasar}}}$$

$$= j \frac{0,038}{6,67} = j0,005$$

c. Menghitung reaktansi transformator

$$X_{(\text{pada } 100\%)} = \frac{kV^2}{MVA_{hs}}$$

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

Nilai reaktansi transformator tenaga :

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

$$X_{t1} = X_{t1}(\%) \cdot X_t(\text{ohm}) = 12,12\% \cdot 6,67 = 0,808 \text{ Ohm}$$

Reaktansi Urutan Nol (X_{t0})

Transformator daya Ynyn0+d yang mempunyai belitan delta, jadi reaktansi urutan nol, sebagai berikut :

$$X_{t0} = 3 \times X_{t1} = 3 \times 0,808 = 2,42 \text{ Ohm}$$

d. Menghitung impedansi penyulang

Jenis penghantar berdasarkan data yang diperoleh, penyulang PTI 14 menggunakan penghantar AAAC 240mm² dengan panjang 7,2km.

Impedansi urutan positif

(Z₁) = impedansi urutan negatif (Z₂)

$$Z_1 = Z_2 (\text{AAAC 240}) = (0,1344 + j0,3158) \Omega/\text{km} \times 7,2 = 0,967 + j2,273$$

$$Z_1 = Z_2 \text{ dalam pu} = \frac{0,967 + j2,273}{6,67}$$

$$= 0,144 + j0,34$$

$$Z_0 (\text{AAAC 240}) = (0,2824 + j1,6034) \Omega/\text{km} \times 7,2 = 2,033 + j11,544$$

$$Z_0 \text{ dalam pu} = \frac{2,033 + j11,544}{6,67}$$

$$= 0,304 + j1,73$$

Tabel 2. Impedansi penyulang

Panjang Saluran (%)	Impedansi Z ₁ = Z ₂	Impedansi Z ₀
0	0 pu	0 pu
25	0,036 + j0,085 pu	0,076 + j0,432 pu
50	0,072 + j0,17 pu	0,152 + j0,865 pu
75	0,108 + j0,255 pu	0,228 + j1,297 pu
100	0,144 + j0,34 pu	0,304 + j1,73 pu

e. Nilai Impedansi ekuivalen penyulang

$$Z_{1eq} = Z_{2eq} = Z_{is} (20\text{kV}) + Z_t + Z_{\text{penyulang}}$$

$$= j0.038 + j0.808 + Z_{\text{penyulang}}$$

$$Z_{1eq} = Z_{2eq} \text{ dalam pu} = \frac{j0,038 + j0,808}{6,67}$$

$$= j0,126 + Z_{\text{penyulang}}$$

$$Z_{0eq} = Z_{0T} + 3R_N + Z_{0\text{penyulang}}$$

$$= j2,424 + (3 \times 1) + Z_{0\text{penyulang}}$$

$$Z_{0eq} \text{ dalam pu} = \frac{2,424 + j3}{6,67}$$

$$= 0,44 + j0,363 + Z_{0penyulang}$$

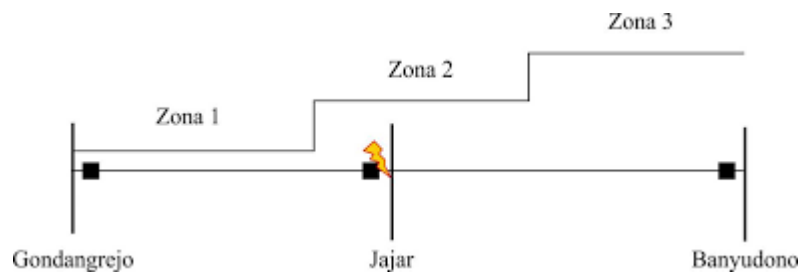
Tabel 3. Impedansi Ekuivalen

Panjang Saluran (%)	Impedansi Ekuivalen $Z_{1eq} = Z_{2eq}$	Impedansi Ekuivalen Z_{0eq}
0	$0 + j0,126 \text{ pu}$	$0,44 + j0,363 \text{ pu}$
25	$0,036 + j0,211 \text{ pu}$	$0,516 + j0,795 \text{ pu}$
50	$0,072 + j0,296 \text{ pu}$	$0,592 + j1,228 \text{ pu}$
75	$0,108 + j0,381 \text{ pu}$	$0,668 + j1,66 \text{ pu}$
100	$0,144 + j0,466 \text{ pu}$	$0,744 + j2,093 \text{ pu}$

f. Menghitung arus gangguan hubung singkat

Menghitung nilai ekuivalen yang ada di lokasi terjadinya gangguan.

Lokasi gangguan dapat dilihat melalui gambar berikut:



Gambar 3. Lokasi Gangguan Arus Hubung Singkat

selanjutnya adalah menghitung arus hubung singkat dengan rumus dasar yaitu:

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

1. Arus hubung singkat tiga fasa:

$$I_{3ph} = \frac{V}{Z_1}$$

$$= \frac{1 + j0}{0 + j0,126}$$

$$\begin{aligned}
&= \frac{1 \angle 0^\circ \text{pu}}{0,126 \angle 90^\circ \text{pu}} \\
&= 7,94 \angle -90^\circ \\
I_{\text{pu}} &= I_{3\text{ph}} \times I_{\text{dasar}} \\
&= 7,94 \angle -90^\circ \times 1732,1 \\
&= 13752,08 \angle -90^\circ
\end{aligned}$$

Tiga fasa dalam amper

$$\begin{aligned}
I_{3\text{ph}} &= I_{\text{Dasar}} \times 7,9 \text{pu} \\
&= 1732,1 \times 7,9 \\
&= 13,6 \text{ kA}
\end{aligned}$$

2. Arus hubung singkat dua fasa:

$$\begin{aligned}
I_{2\text{ph}} &= \frac{V_{\text{ph}}}{Z_1 + Z_2} \\
&= \frac{\sqrt{3} \cdot (1 + j0)}{2 \cdot (0 + j0,126)} \\
&= \frac{1,73 \angle 0^\circ}{0,25 \angle 90^\circ} \\
&= 6,92 \angle -90^\circ \\
I_{\text{pu}} &= 6,92 \angle -90^\circ \times 1732,1 \\
&= 11986,13 \angle -90^\circ \text{A}
\end{aligned}$$

3. Arus gangguan hubung singkat satu fasa ke tanah:

$$\begin{aligned}
I_{1\text{ph}} &= \frac{3 \cdot V}{Z_1 + Z_2 + Z_0} \\
&= \frac{3 \cdot (1 + j0)}{2 \times (0 + j0,126) + (0,44 + j0,363)} \\
&= \frac{3 \angle 0}{0,756 \angle 54,41} \\
&= 3,968 \angle -54,41 \\
I_{\text{pu}} &= 3,968 \angle -54,41 \times 1732,1 \\
&= 6872,97 \angle -54,41 \text{A}
\end{aligned}$$

Hasil arus gangguan hubung singkat diatas, dapat digunakan untuk penyetelan *OCR* dan *GFR*. Maka dapat perbandingan besarnya arus gangguan berdasarkan lokasi gangguan yang dinyatakan dalam (%) sesuai tabel berikut ini :

Tabel 4. Hasil Arus Gangguan Hubung Singkat

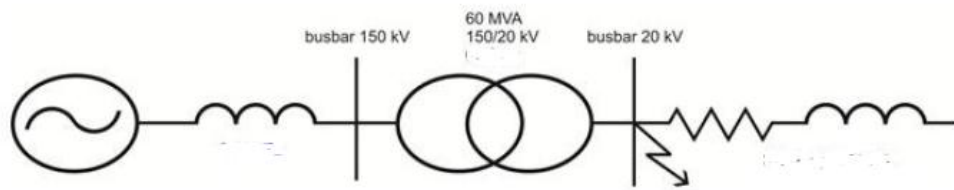
Panjang Saluran (%)	Hubung Singkat 3 Fasa	Hubung Singkat 2 Fasa	Hubung Singkat 1 Fasa ke tanah
0	13752,08 $\angle$ -90 A	11986,13 $\angle$ -90 A	6872,97 $\angle$ -54,41 A
25	8098,21 $\angle$ -80,31 A	7001,24 $\angle$ -80,31 A	3846,26 $\angle$ -64,21 A
50	5157,89 $\angle$ -76,32 A	4920,41 $\angle$ -76,32 A	2647,12 $\angle$ -67,98 A
75	4373,86 $\angle$ -74,17 A	3783,50 $\angle$ -74,17 A	2015,63 $\angle$ -69,94 A
100	3551,26 $\angle$ -72,82 A	3073,36 $\angle$ -72,82 A	1625,87 $\angle$ -71,16 A

3.2.2 Setting Relay Arus Lebih dan Relay Gangguan Tanah

Trafo yang terpasang pada penyulang mempunyai rasio 600/5 ampere. Dengan beban maksimum 480 A. Relay arus lebih dan relay gangguan tanah yang digunakan adalah karakteristik *standart inverse*.

a. Setting Relay Arus Lebih Penyulang 20 kV

Relai inverse biasanya diset antara 1,05 sampai dengan $1,1 \times I_{maks}$. *Setting* relay harus dilihat karena arus dan waktu kerja relay di penyulang bekerja lebih dahulu daripada relay *incoming*, lalu *incoming* bekerja lebih awal dari sisi 150kV. Waktu kerja relay arus lebih dipenyulang diambil selama 0,3 detik dan relay di *incoming* lebih lama 0,4 detik.



Gambar 4. Arus Hubung Singkat Penyulang 20Kv

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

$$= 1,05 \times 480 = 504 \text{ A}$$

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

$$= 504 \times \frac{5}{600}$$

$$= 4,2 \text{ A}$$

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

$$0,3 = \frac{0,14 \text{ tms}}{\left(\frac{I_{fault}}{I_{set}} \right)^{0,02} - 1}$$

$$= \frac{0,14 \text{ tms}}{\left(\frac{13745,94}{504} \right)^{0,02} - 1}$$

$$= 0,12$$

b. Setting Relay Arus Lebih Incoming 20kV

Setelan arus nominal trafo 20Kv

$$I_{n(20kV)} = \frac{\text{MVA}}{\text{KV} \cdot \sqrt{3}}$$

$$= \frac{60 \text{ kV}}{20 \cdot \sqrt{3}}$$

$$= 1,732,1$$

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

$$\begin{aligned}
&= 1.05 \times 1.732,1 \\
&= 1.818,7 \\
I_{set(sekunder)} &= I_{set(primer)} \times \frac{1}{CTratio} \\
&= 1.818,7 \times \frac{1}{2.000} \\
&= 0.909 \\
TMS(t) &= \frac{0.14tms}{\left(\frac{Ifault}{Isett} \right)^{0.02}} \\
0,7 &= \frac{0,14tms}{\left(\frac{13745,94}{1818,7} \right)^{0.02}} \\
TMS &= 0.2
\end{aligned}$$

c. Setting Relay Gangguan Tanah Pada Penyulang 20kV

Arus primer untuk *setting* arus gangguan tanah didapat dari arus gangguan hubung singkat 1 fase ke tanah yang terendah, supaya dapat menampung tahanan busur. Sisi penyulang disetting 0.5 detik dan sisi incoming lebih lama 1 detik.

$$\begin{aligned}
I_{sett(primer)} &= 0,1 \times 1625,87 \\
&= 162,587A \\
I_{sett(sekunder)} &= I_{sett(primer)} \times \frac{1}{ratioCT} \\
&= 162,587 \cdot \frac{5}{600} \\
&= 1,35
\end{aligned}$$

Setting TMS(t)

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

$$0,5 = \frac{0,14\text{tms}}{\left(\frac{6872,97}{162,587} \right)^{0,02} - 1}$$

$$\text{TMS} = 0.25$$

d. Setting Relay Gangguan Tanah Pada Incoming 20Kv

Setting arus gangguan tanah di *incoming* 20 kV harus bekerja sesensitif mungkin, karena harus ada cadangan arus relay di sisi penyulang 20 kV, maka diatur 8.0 % x nilai arus gangguan tanah yang paling terkecil.

$$\begin{aligned} I_{set (primer)} &= 0.08 \times 1625,87 \\ &= 130,06 \text{ amper} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} I_{sett (sekunder)} &= I_{sett (primer)} \times \frac{1}{ratioCT} \\ &= 130,06 \times \frac{5}{2000} \\ &= 0.32 \text{ amper} \end{aligned}$$

Setting TMS(t)

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

$$1 = \frac{0,14\text{tms}}{\left(\frac{6872,97}{130,06} \right)^{0,02} - 1}$$

$$\text{tms} = 0,57$$

3.3 Waktu Pemeriksaan Relay Saat Bekerja

a. Pemeriksaan Relay 3 Fasa

Penyulang 20kV

t=

$$\frac{0,14.tms}{\left(\frac{I_{fault}}{I_{set}} \right)^{0,02} - 1}$$

t =

$$\frac{0,14 \times 0,12}{\left(\frac{13745,94}{504} \right)^{0,02} - 1}$$

$$Tms = 0,24$$

Incoming 20kV

t=

$$\frac{0,14.tms}{\left(\frac{I_{fault}}{I_{set}} \right)^{0,02} - 1}$$

1 =

$$\frac{0,14 \times 0,2}{\left(\frac{13745,94}{1818,7} \right)^{0,02} - 1}$$

$$Tms = 0,68$$

Tabel 5. Waktu Kerja Relay 3 Fasa

Lokasi Masalah(%)	Waktu Relay Penyulang	Waktu Relay <i>Incoming</i>	Selisih Waktu
0	0,24	0,68	0,44
25	0,28	0,93	0,65
50	0,34	1,21	0,87
75	0,42	1,64	1,22
100	0,56	2,15	1,59

b. Pemeriksaan Relay 2 Fasa

Penyulang 20kV

t =

$$\frac{0.14 \times 0.24}{\left(\frac{11890,86}{504} \right)^{0.02} - 1}$$

t = 0,51

Incoming 20kV

$$t = t = 0,73$$

$$\frac{0.14 \times 0,2}{\left(\frac{11890,86}{1818,7} \right)^{0.02} - 1}$$

Tabel 6. Waktu Kerja Relay Dua Fasa

Lokasi Masalah(%)	Waktu Kerja Relay Penyulang	Waktu Kerja Relay <i>Incoming</i>	Selisih Waktu
0	0,51	0,73	0,22
25	0,62	1,03	0,41
50	0,73	1,40	0,67
75	0,81	2	1,19
100	0,93	2,8	1,87

- c. Pemeriksaan Relay 1Fasa Ke Tanah
Penyulang 20kV

$$T =$$

Incoming 20kV

$$T =$$

$$\frac{0,14 \times 0,25}{\left(\frac{6872,97}{162,587} \right)^{0,02}}$$

$$T = 0,45$$

$$\frac{0.14 \times 0.57}{\left(\frac{6872,97}{130,07} \right)^{0.02}}$$

$$T = 0,97$$

Tabel 7. Waktu Kerja Relay Satu Fasa ke Tanah

Lokasi Masalah(%)	Waktu Relay Penyulang	Waktu Relay <i>Incoming</i>	Jeda Waktu
0	0,45	0,97	0,52
25	0,53	1,14	0,61
50	0,61	1,26	0,65
75	0,68	1,42	0,74
100	0,74	1,56	0,82

Berdasarkan tabel diatas, bahwa waktu relai di penyulang 20 kV jauh sangat cepat dibanding saat kerja relai di *incoming* 20kV. Jarak penyulang juga berpengaruh terhadap besar kecilnya selisih waktu (*grading time*). Semakin jauh jarak lokasi, maka semakin besar selisih waktu kerja relai.

Tabel 8. Perbandingan Hasil Perhitungan Dengan Data Lapangan

No	Jenis Relay	Hasil Perhitungan	Di Lapangan
1	<i>OCR incoming</i>	TMS= 0.2 <i>Ratio CT</i> = 2.000/5 A	TMS= 0.17 <i>Ratio CT</i> = 2000/5 A
2	<i>OCR penyulang</i>	TMS = 0,12 <i>Ratio CT</i> = 600/5 A	TMS = 0,15 <i>Ratio CT</i> = 600/5 A
3	<i>GFR incoming</i>	TMS = 0,37 <i>Ratio CT</i> = 2.000/5 A	TMS = 0,43 <i>Ratio CT</i> = 2.000/5 A
4	<i>GFR penyulang</i>	TMS= 0.25 <i>Ratio CT</i> = 600/5 A	TMS = 0,3 <i>Ratio CT</i> = 600/5 A

3.4 Setting Relay CB (*Circuit Breaker*)

Penyetelan setting relay *CB* didapat setelah mengetahui hasil perhitungan relay *OCR* dan *GFR*, sehingga kita dapat mengetahui kapan relay *CB* bekerja karena terjadi beban lebih atau hubung singkat. Relay *CB* harus disetting lebih sensitif ketimbang dengan relay yang lain, karena relay ini bekerja sebelum pmt *trip*.

Di gardu induk gondangrejo memiliki 2 trafo, dari informasi petugas dilapangan, relay *CB* memiliki beban maksimum 4150A di gardu tersebut, rumus yang didapat:

$$ISC = \frac{MVA.Zsc}{\%Zsc.3}$$

Perhitungan hanya pengecekan *setting* relay *CB* dengan 1 trafo dengan spesifikasi yang didapat dari *name plate* trafo tersebut.

Trafo 1 60 MVA Zsc 12%, maka kapasitas *CB* :

$$\begin{aligned}
 ISC &= \frac{MVA.Z_{sc}}{\%Z_{sc}.3} Kv \\
 &= \frac{60MVA.Z_{sc}}{12\%Z_{sc}.3} \times 12 \\
 &= 2050 \text{ A}
 \end{aligned}$$

3.5 Kapasitas pemutusan PMT/CB

Kapasitas pemutusan nilai gangguan hubung singkat di kali 1,6:

1. Pemutusan trafo 150kv

$$\begin{aligned}
 I_{CB} &= I_{Dasar} \times 1,6 \\
 &= 13,6 \text{ kA} \times 1,6 \\
 &= 21,76 \text{ kA}
 \end{aligned}$$

2. Pemutusan proteksi busbar

$$\begin{aligned}
 I_{CB} &= I_{Dasar} \times 1,6 \\
 &= 13,6 \text{ kA} \times 1,6 \\
 &= 21,76 \text{ kA}
 \end{aligned}$$

3. Pemutusan penyulang 20Kv

$$\begin{aligned}
 I_{CB} &= I_{Dasar} \times 1,6 \\
 &= 6,94 \times 1,6 \\
 &= 11,1 \text{ kA}
 \end{aligned}$$

Tabel 9. Hasil Penentuan Pemutusan PMT/CB

Letak PMT/CB	I_{Dasar}	I_{CB} (kA)	Rating PMT/CB
Transformator 150kV	13,6	21,76	40
Busbar 20 kV	13,6	21,76	40
Penyulang	6,94	11,1	25

4. PENUTUP

Berdasarkan hasil setting analisa relay arus lebih, relai gangguan tanah dan *setting CB* diatas, maka dapat disimpulkan bahwa :

- a. Arus gangguan hubung singkat tertinggi yang didapat dalam perhitungan adalah pada gangguan 3 fasa sebesar $13745,94\angle -90$ A, gangguan 2 fasa sebesar $11890,86\angle -90$ A dan gangguan 1 fasa ke tanah sebesar $6872,97\angle -54,41$ A.
- b. Penyetelan *OCR* di sisi penyulang 20kV dengan nilai *TMS*= 0.12 dengan waktu kerja $t = 0.3s$, sisi *setting* relay pada *incoming* 20 kV didapat nilai *tms* = 0.2, dan waktu kerja $t = 0,7s$.
- c. Penyetelan relay *GFR* di sisi penyulang 20kV didapat nilai *tms* = 0,25 dengan waktu kerja $t = 0,5s$, dan nilai *TMS* pada sisi *incoming* 20 kV sebesar 0,37 dengan waktu kerja 1s.
- d. Waktu kerja relay di *incoming* lebih lama dari waktu kerja relay dipenyulang disebut *grading time*, yang artinya adalah relay di penyulang harus bekerja lebih cepat dari relay *incoming*. Besar dan kecilnya nilai waktu relai dipengaruhi oleh jarak.
- e. Hasil perhitungan dengan data yang ada di lapangan, kondisi relai masih dalam kondisi baik, karena nilai yang didapat dalam perhitungan tidak jauh berbeda dengan data yang ada dilapangan.
- f. Kapasitas pemutusan untuk PMT busbar 20 kV adalah sebesar 21,76 kA dengan asumsi gangguan terjadi pada busbar 20 kV dan besar kapasitas pemutusan PMT pada penyulang Palur1 adalah 11,6kA.
- g. *Rating* PMT transformator adalah 40 kA, *rating* PMT busbar 40 kA dan *rating* PMT penyulang Palur1 adalah 25 kA.

Persantunan

Penulis mengucapkan Alhamdulillah dan terimakasih, karena banyak pihak yang telah mendukung dan membantu penulis dalam penelitian naskah publikasi sebagai berikut :

- a. Terima kasih kepada Allah SWT yang telah memberikan pertolongan dan menghilangkan rasa malas pada diri seorang penulis sehingga dapat terselesaikan dengan baik.
- b. Terimakasih kepada keluarga penulis yaitu bapak, ibu dan kakak yang telah mendukung memenuhi kebutuhan penulis sehingga tugas akhir dapat diselesaikan.
- c. Terimakasih kepada bapak dan ibu dosen yang telah membimbing penulis dengan sabar dan penuh tanggung jawab sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir.
- d. Terimakasih kepada teman-teman satu angkatan penulis yaitu Arkham Wildan Wijaksana, Agus Prawira Alam, Yudi Prasetyo, Fajar Baskoro, Hasan, Bima Hardianto, Anang Andre khususnya FTE Hik Babe yang telah memberikan bantuan dan motivasi terus menerus.
- e. Terimakasih kepada teman angkatan 2015 semoga sukses selalu.
- f. Terimakasih kepada karyawan gardu induk Gondangrejo yang telah membantu dalam memberikan data teknis peralatan dan memberi penjelasan kepada penulis.

DAFTAR PUSTAKA

- Buku Petunjuk Batasan Operasi dan Pemeliharaan Peralatan Penyaluran Tenaga Listrik SKDIR 114.K/DIR/2010 Proteksi dan Kontrol Busbar No. Dokumen: 1722/HARLUR-PST/2009. PT PLN (Persero), Jakarta. Indonesia
- Ch G Kalaudos, dkk, 2011, Short-circuit Analysis of An Isolated Generator and Comparative Study of IEC, ANSI and dynamic simulation, Agia Napa, 2011.
- <http://azumaryu.blogspot.com/2016/11/busbar-busbar-adalah-bentuk-besarnya.html?m=1>
- PLN Pusat Pendidikan dan Pelatihan.010.*Perhitungan Setting Proteksi Busbar*.Jakarta:PT.PLN(Persero).
- Tasiam,F.2017.*Proteksi Sistem Tenaga Listrik*.Bandung:TEKNOSAIN
- Unimed.2012.Proteksi Sistem Tenaga Listrik.<http://unimed-protek.blogspot.com/2012/06/proteksi-sistem-tenga-listrik.html>
- Warsono,2008,*Studi Penggunaan Relay Differensial Pada Transformator Daya 30MV Gardu Induk Sei Raya PT.PLN (Persero) Sektor Kapuas*.Tugas Akhir,Jurusan Teknik Elektro,Universitas Tanjungpura Pontianak.