

## Setting Koordinasi Over Current Relay pada Trafo 60 MVA 150/20 Kv dan Penyulang 20 KV

**Badaruddin, Budi Wirawan**

Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik

Universitas Mercu Buana Jakarta

Email: bsulle@gmail.com

**Abstrak** -- Tenaga listrik merupakan salah satu kebutuhan pokok saat ini. Oleh karenanya tenaga listrik harus tersedia secara ekonomis dengan memperhatikan mutunya baik tegangan maupun arus dan frekuensi beserta keandalannya. Guna menjaga kelangsungan saluran tenaga listrik diperlukan proteksi yang sesuai dengan kebutuhan. Fungsinya adalah untuk melokalisasi daerah gangguan menjadi sekecil mungkin, jadi hanya daerah yang terganggu saja yang dibebaskan dari rangkaian tenaga listrik dan juga harus mempertimbangkan tingkat keamanan terhadap peralatan stabilitas tenaga listrik serta keamanan terhadap manusia. Dari analisis ini, akan didapat besarnya nilai setingan proteksi relai arus lebih (OCR) dan relai gangguan tanah (GFR) transformator beserta bagaimana koordinasi dari OCR dan GFR tersebut yang ditunjukkan pada grafik. Berdasarkan hasil tersebut sangat diperlukan evaluasi setting relai dikarenakan MVA tiap tahun pada Gardu Induk tidak selalu sama.

**Kata kunci:** Setting Koordinasi Arus Lebih Relai Pada Trafo Dan Penyulang

**Abstract** -- Electric power is one of the basic needs right now. Therefore electricity must be available economically by taking into account both voltage and current quality and frequency of its reliability. In order to maintain continuity of electrical power lines needed protection in accordance with needs. Its function is to localize the disturbance area as small as possible, so only the affected areas are freed from the power circuit and also must consider the level of security against the stability of electric power equipment and also to human security. From this analysis, will get the value of reality setting overcurrent protection (OCR) and ground fault relay (GFR) transformer and how the coordination of OCR and GFR is shown in the graph. From the results of an evaluation is needed because relay settings MVA each year at the substation is not always the same.

**Keywords:** Setting Coordination Over Current Relay On Transformers and feeders

### 1. PENDAHULUAN

Tujuan utama dari sistem tenaga listrik adalah penyaluran daya listrik yang mempunyai mutu dan keandalan yang tinggi dan salah satu hal yang terpenting dalam suatu sistem tenaga listrik adalah pengamanan terhadap peralatan listrik yang digunakan dari segala macam bentuk gangguan.

Pada penelitian ini akan dibahas mengenai sistem pengamanan dari gangguan hubung singkat antar fasa tanah dengan menggunakan over current relai (OCR) dan gangguan hubung singkat fasa tanah dengan menggunakan ground fault relai (GFR) sebagai pengaman transformator daya 150/20 kV dan penyulang 20 kV.

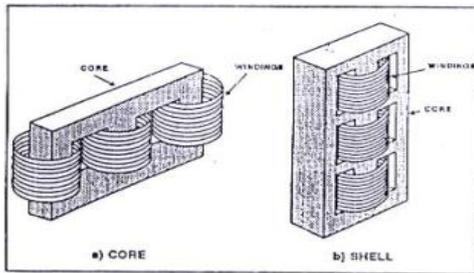
Dalam tulisan ini dapat dirumuskan permasalahan bagaimana menghitung dan menganalisis setting koordinasi rekai OCR dan GFR sehingga proteksi trafo dapat bekerja lebih baik. Dari permasalahan yang telah disebutkan diatas maka tulisan ini hanya akan dibatasi pada menghitung dan menganalisis penyetelan

koordinasi relai proteksi OCR dan GFR yang terpasang di penyulang 20 kV, incoming trafo 20 kV dan sisi 150 kV trafo 60 MVA GI manes, menguji hasil perhitungan setting relai OCR dan GFR. Tulisan ini berupaya untuk menganalisis penyetelan dan menghitung setting koordinasi relai proteksi OCR dan GFR yang terpasang di penyulang 20 kV, incoming trafo 20 kV dan sisi 150 kV trafo 60 MVA GI menes.

### 2. PROTEKSI TRAF0 60 MVA 150/20 kV DAN PENYULANG 20 kV

#### 2.1. Transformator Daya

Transformator adalah suatu alat listrik statis yang berfungsi merubah tegangan guna penyaluran daya listrik dari suatu rangkaian ke rangkaian yang lain melalui gandengan magnet berdasarkan prinsip induksi elektromagnetik.



Gambar 1. Tipe Transformator : (a) tipe core (inti), (b) tipe shell (cangkang)

Transformator daya digunakan untuk merubah tegangan dari tegangan tinggi ke tegangan rendah begitupun sebaliknya agar didapatkan penyaluran daya yang efisien. Kemampuan transformator untuk merubah tegangan ini diperoleh karena dua macam lilitan yaitu lilitan primer dan lilitan sekunder, sehingga perbandingan jumlah lilitan dengan langsung menetapkan perbandingan tegangan dan dengan terbalik menetapkan perbandingan arusnya.

Transformator daya berfungsi sangat penting dalam penyaluran daya listrik, oleh karena itu trafo harus diamankan untuk mencegah kerusakan akibat gangguan, baik gangguan yang terjadi di dalam trafo itu sendiri maupun gangguan yang terjadi di luar trafo yang dapat mengakibatkan kerusakan pada trafo tersebut (Gonen,1988).

## 2.2. Gangguan Pada Transformator Daya Dan Penyulang

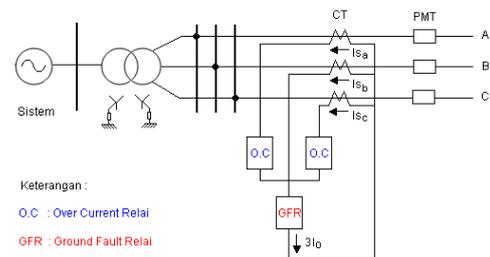
Gangguan yang terjadi pada sistem tenaga listrik dapat digolongkan menjadi dua bagian yaitu gangguan yang bersifat tetap (permanen) dan gangguan yang bersifat sementara (temporer). Gangguan yang bersifat permanen adalah gangguan yang dapat mengakibatkan kerusakan secara permanen, misalnya hubung singkat pada kabel atau belitan trafo karena tembusnya isolasi. Disini pada titik gangguan memang terjadi kerusakan yang permanen. Peralatan yang terganggu tersebut bisa dioperasikan kembali setelah bagian yang rusak diperbaiki atau diganti. Penyebab gangguan permanen antara lain penuaan isolasi, kerusakan mekanis isolasi, tegangan lebih dsb.

Gangguan yang bersifat sementara adalah gangguan yang tidak mempunyai kerusakan secara permanen di titik gangguan, misalnya flashover antara penghantar fasa dan tanah/tiang karena sambaran petir, dahan pohon yang menyambar konduktor karena tertiuip angin, atau burung/binatang lain yang

terbang/merayap mendekati konduktor fasa dsb. Gangguan Hubung singkat yang terjadi antar fasa (dua fasa atau tiga fasa) atau antara satu fasa ke tanah, dapat bersifat sementara atau permanen.

## 2.3 Relai Arus Lebih Sebagai Pengaman Gangguan Antar Fasa Dan 1 Fasa Ke Tanah

Gangguan di dalam trafo dapat berupa gangguan satu fasa ke tanah, gangguan antar fasa, gangguan antar belitan, gangguan sadapan, gangguan bushing dsb. Gangguan yang terbanyak adalah gangguan satu fasa ke tanah, sedangkan gangguan antar fasa relatif sedikit karena kedudukan belitan setiap fasanya terpisah (Instruction Manual BE1-851).



Gambar 2. Relai Arus Lebih

Relai hubung singkat yang settingnya diatas arus beban maksimum, kurang atau tidak sensitif terhadap gangguan fasa ke tanah, karena nilai arus gangguan tanah yang relatif kecil sedangkan nilai setting relai arus hubung singkat diatas arus beban. Relai gangguan tanah juga bisa salah jauh pada sistem distribusi.

## 2.4 Teori Komponen Simetris

Teori komponen simetris merupakan metode yang sangat penting dan merupakan pokok perubahan berbagai artikel dan penyelidikan uji coba gangguan tak simetris pada sistem transmisi, yang terjadi karena hubung singkat, impedansi antar saluran, impedansi dari satu atau dua saluran ke tanah, atau penghantar yang terbuka.

Himpunan seimbang komponen itu adalah:

1. Komponen urutan positif, yang terdiri dari tiga fasor yang sama besarnya, terpisah satu dengan yang lain dalam fasa sebesar  $120^\circ$  dan mempunyai urutan fasa yang sama seperti fasor aslinya.
2. Komponen urutan negatif, terdiri dari tiga fasor yang sama besarnya, terpisah satu dengan yang lain dalam fasa sebesar  $120^\circ$

dan mempunyai urutan fasa yang berlawanan seperti fasor aslinya.

3. Komponen urutan nol, terdiri dari tiga fasor yang sama besarnya dan dengan pergeseran fasa nol antara fasor yang satu dengan yang lain.

Karena setiap fasor tak seimbang yang asli adalah jumlah komponen fasor asli yang dinyatakan dalam suku-suku komponennya adalah:

$$\begin{aligned} V_a &= V_{a1} + V_{a2} + V_{a0} \\ V_b &= V_{b1} + V_{b2} + V_{b0} \\ V_c &= V_{c1} + V_{c2} + V_{c0} \end{aligned}$$

### 2.5 Sistem Per-Unit (p.u)

Dalam sistem per-unit terdapat empat besaran dasar yaitu besaran dasar daya dalam kilovolt-ampere (kVA) atau megavolt-ampere (MVA), besaran dasar tegangan dalam volt (V) atau kilovolt (kV), besaran dasar impedansi dalam ohm ( $\Omega$ ) dan besaran arus dalam ampere (A).

Pada umumnya besaran daya dipilih pertama, lalu salah satu tegangan dipilih sebagai tegangan dasar, tegangan sistem yang lainnya dapat ditentukan dengan menggunakan referensi dari rating primer dan sekunder trafo. Tegangan dasar biasanya menggunakan tegangan fasa-fasa dalam kilovolt. Formula untuk menghitung besaran dasar adalah:

$$I_b = \frac{kVA_b}{\sqrt{3} \cdot KV_b}$$

$$Z_b = \frac{KV_b \cdot 1000}{\sqrt{3} \cdot I_b} = \frac{(KV_b)^2 \cdot 1000}{kVA_b} = \frac{(KV_b)^2}{MVA_b}$$

dimana:

- $I_b$  = besaran dasar arus (A)
- $KV_b$  = besaran dasar tegangan ( $kV_{l-l}$ )
- $kVA_b$  = besaran dasar daya (kVA)
- $MVA_b$  = besaran dasar daya (MVA)
- $Z_b$  = besaran dasar impedansi ( $\Omega$ /fasa)

Elemen impedansi biasanya dinyatakan dalam ohm atau milliohm atau dalam persen pada suatu peralatan. Impedansi kabel secara umum dinyatakan dalam ohm dan impedansi trafo dalam persen dengan rating kVA/MVA. Sebagai contoh 5% pada trafo 500 kVA. Besaran impedansi sebenarnya dapat dirubah ke dalam besaran per-unit dengan rumus (Gonen,1988):

$$Z_{pu} = \frac{Z\% \cdot kVA_b}{100 \cdot kVA_e} \left( \frac{kV_e}{kV_b} \right)^2$$

$$Z_{pu} = \frac{Z_{pu\ e} \cdot kVA_b}{kVA_e} \left( \frac{kV_e}{kV_b} \right)^2$$

$$Z_{pu} = \frac{Z_e \cdot kVA_b}{1000 \cdot kV_b^2}$$

dimana:

- $Z_{pu}$  = impedansi per-unit
  - $Z_{pu\ e}$  = impedansi per-unit pada rating kVA dari elemen
  - $Z_e$  = impedansi sebenarnya dalam ohm
  - $Z\%$  = impedansi yang dinyatakan dalam persen
  - $kVA_e$  = daya sebenarnya dalam kVA
  - $kV_e$  = tegangan sebenarnya dalam kV
- Jika resistansi diabaikan maka rumus tersebut menggunakan besaran reaktansi (X) sebagai pengganti dari impedansi (Z).

### 2.6 Analisa Gangguan Pada Sistem Distribusi 20 kV

Gangguan pada sistem tenaga listrik dapat dikategorikan dengan :

1. Gangguan paralel (*shunt faults*) atau hubung singkat
2. Gangguan simultan (*simultaneous faults*) atau mempunyai lebih dari satu gangguan yang terjadi pada waktu yang bersamaan.

Pada umumnya gangguan satu fasa ke tanah terjadi karena satu penghantar fasanya terhubung singkat ke tanah baik secara langsung atau terhubung dengan kawat tanah. Gambar berikut akan memperlihatkan gambaran umum dari gangguan satu fasa ke tanah pada titik F dengan impedansi gangguan  $Z_f$ , memperlihatkan rangkaian ekivalen jaringan urutan.

Gangguan fasa ke tanah yang terjadi dimisalkan pada fasa a dengan  $V_f$  adalah tegangan sebelum terjadi gangguan ( $V_f = 1.0 \angle 0^\circ$  p.u).

Dimana:

$$I_{a0} = I_{a1} = I_{a2} = \frac{1,0 \angle 0^\circ}{Z_0 + Z_1 + Z_2 + 3Z_f}$$

Arus gangguan untuk fasa adalah

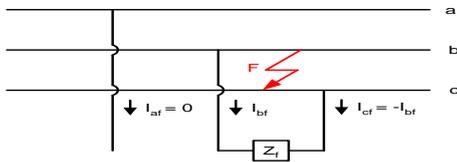
$$I_{af} = I_{a0} + I_{a1} + I_{a2}$$

Atau

$$I_{af} = 3I_{a0} = 3I_{a1} = 3I_{a2}$$

Pada umumnya, gangguan antar fasa pada sistem tenaga listrik ketika dua penghantar terhubung singkat. Gambar 3 menunjukkan gambaran umum dari gangguan antar fasa pada titik gangguan F dengan impedansi gangguan  $Z_f$  dan rangkaian ekivalen

jaringan urutan, dengan  $V_f$  adalah tegangan sebelum terjadi gangguan ( $V_f = 1,0 \angle 0^\circ$  p.u).



Gambar 3. Gangguan Fasa-Fasa Gambaran Umum

Dari gambar diperoleh

$$\begin{aligned} I_{af} &= 0 \\ I_{bf} &= -I_{cf} \\ V_{bc} &= V_b - V_c = Z_f I_{bf} \end{aligned}$$

arus urutan dapat dirumuskan

$$\begin{aligned} I_{a0} &= 0 \\ I_{a1} &= -I_{a2} = \frac{1,0 \angle 0^\circ}{Z_1 + Z_2 + Z_f} \end{aligned}$$

Dengan mensubsitusikan persamaan maka diperoleh arus gangguan untuk fasa b dan c adalah:

$$I_{bf} = -I_{cf} = \sqrt{3} I_{a1} \angle -90^\circ$$

### 2.7 Sistem Pembumian Transformator Daya

Sistem pembumian pada trafo dibagi menjadi empat tipe, yaitu (PLN, 2006):

- Trafo yang tidak dibumikan.
- Trafo yang dibumikan dengan tahanan tinggi.
- Trafo yang dibumikan dengan tahanan rendah.
- Trafo yang dibumikan langsung (*solid grounding*).

### 3. PROTEKSI OVER CURRENT RELAY (OCR) DAN GROUND FAULT RELAY (GFR)

#### 3.1. Relai Proteksi Pada Transformator Daya Dan Penyulang

Definisi relai proteksi menurut *The Institute Of Electrical And Electronic Engineering* (IEEE) adalah suatu peralatan elektrik yang didesain untuk mengartikan

kondisi masukan pada keadaan tertentu, setelah kondisi tersebut dispesifikasikan, yang ditujukan untuk memberi respon yang dapat menyebabkan pengoperasian kontak didalam suatu kesatuan rangkaian listrik. Kondisi

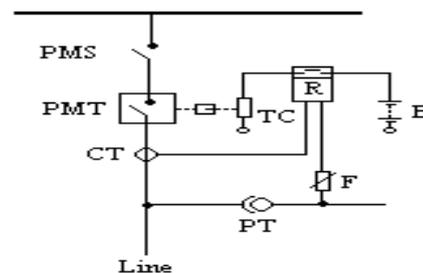


masukan biasanya berupa sinyal listrik, mekanik, atau besaran lainnya.

Gambar 4. Blok Diagram Relai

Selain relai proteksi digunakan peralatan-peralatan pendukung yang dapat membebaskan sistem dari bagian yang terganggu, antara lain (Komari, 2003):

1. Trafo Arus (CT) dan/atau Trafo Tegangan



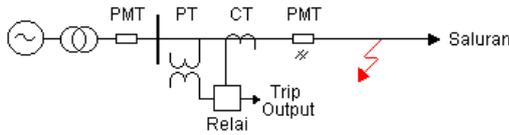
- (PT)
2. Pemutus Tenaga (PMT)
3. Batterie (aki)

Gambar 5. Hubungan Komponen Sistem Proteksi

Keterangan :

- PMS = Pemisah
- PMT = Pemutus tenaga
- R = Relai
- PT = Trafo Tegangan
- CT = Trafo Arus
- TC = Trip Coil
- F = Fuse
- B = Battre

Relai menggunakan besaran listrik yang dihubungkan dengan sistem tenaga listrik melalui trafo arus dan/atau trafo tegangan. Peralatan ini memberikan perlindungan dari tegangan yang tinggi pada sistem tenaga listrik dan mengurangi medan magnet pada kumparan sekunder untuk dihubungkan dengan relai.



Gambar 6. Hubungan Relai Dalam Sistem Tenaga Listrik

Pada Gambar 6 diperlihatkan dalam kondisi normal PMT menutup dan daya dapat disalurkan, apabila terjadi gangguan maka relai akan merasakan gangguan tersebut melalui trafo arus dan/atau trafo tegangan dan akan memberikan sinyal kepada PMT untuk membuka dengan bantuan battre, sehingga penyaluran daya terhenti.

Relai proteksi mempunyai fungsi antara lain:

1. Mendeteksi adanya gangguan atau keadaan abnormal lainnya pada bagian sistem yang diamankannya.
2. Memisahkan bagian yang terganggu dari bagian sistem yang masih beroperasi dengan cara memerintahkan trip kepada PMT yang bersangkutan.
3. Memberitahukan adanya gangguan kepada operator, yaitu dengan cara membunyikan alarm dan menyalakan lampu tanda gangguan.
4. Relai proteksi mutakhir dapat memberi informasi jarak lokasi gangguan dan letak gangguan.

Suatu relai proteksi harus memiliki beberapa syarat-syarat utama antara lain:

1. Kepekaan (*Sensitivity*)
2. Keandalan (*Reliability*), Keandalan dapat dibagi atas :
  - Keandalan (*Dependability*)
  - Keamanan (*Security*)
  - Ketersediaan (*Availability*)
3. Selektifitas
4. Kecepatan

Ada kemungkinan suatu sistem proteksi gagal bekerja karena kegagalan komponennya. Misalnya kegagalan/kelemahan battre, terputusnya rangkaian trip, gangguan pada PMT, kerusakan relai dsb.

Oleh karena itu sistem harus dilengkapi oleh proteksi utama (*main protection*) dan proteksi cadangan (*backup protection*), dimana setiap tipe ini mempunyai fungsi dan cara kerja masing-masing:

1. Proteksi Utama
2. Proteksi Cadangan

### 3.4. Prinsip Dasar Penyetelan Relai OCR dan GFR trafo dan penyulang

Setting OCR trafo pada penyulang 20 kV untuk arus kerja minimum adalah sebagai berikut.

Fungsi OCR pada penyulang adalah sebagai pengaman utama penyulang terhadap gangguan hubung singkat fasa-fasa eksternal yaitu gangguan pada jaringan TM. OCR pada penyulang di koordinasikan dengan OCR pada incoming trafo yang berfungsi sebagai pangaman cadangan apabila OCR pada penyulang gagal bekerja.

Setting arus kerja berdasarkan arus beban penyulang:

$$I_{s1} = 1,2 \times I_{\text{beban}}$$

$$I_{s2} = 1,2 \times I_n \text{ peralatan}$$

Sehingga didapat rumus dalam besaran sekunder:

$$I_{\text{set}} = \left( I_s \times \frac{I_n}{CT} \right) \text{ A (sekunder)}$$

Sedangkan waktu dan karakteristik kerja untuk kurva standar inverse(SI) didapat rumus:

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

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

dimana:

$I_{hs}$  = Hubung singkat maksimum dua fasa di pangkal penyulang / di dekat busbar TM

$I_s$  = Setting arus kerja dalam Ampere primer

$t$  = Waktu kerja 0,2-0,5 detik

Setting GFR trafo pada penyulang 20 kV

$I_{sg1} = (0,2 - 0,3) \times I_{\text{beban}}$  Setting arus kerja pada peralatan terkecil (CT, PMT, NGR dan kabel), adalah:

$I_{sg2} = (0,2 - 0,3) \times I_n \text{ Peralatan terkecil}$

Sehingga didapat dalam besaran sekunder:

$$I_{\text{set g}} = \left( I_{sg} \times \frac{I_n}{CT_{20}} \right)$$

Setting waktu dan karakteristik kerja

Untuk kurva standar inverse(SI) didapat rumus:

$$TMSg = \frac{\left( \frac{I_{hs}}{I_s} \right)^{0,02} - 1}{0,14} t_g$$

dan rumus untuk menghitung waktu kerja aktual adalah sebagai berikut:

$$TMSg = \frac{0,14}{\left( \frac{I_{hs}}{I_s} \right)^{0,02} - 1} t_g$$

dimana :

$I_{hs}$  = Hubung singkat maksimum satu fasa di busbar 20 KV

$I_{sg}$  = Setting arus kerja GFR dalam Ampere primer

$t$  = Waktu kerja yang di inginkan 0,2-0,5 detik

$$t = \frac{0,14}{\left(\frac{I_{hs}}{I_{set \text{ 20 kV primer}}}\right)^{0,02} - 1} t_d$$

$$t = \frac{0,14}{\left(\frac{11,97 \text{ kA}}{720 \text{ A}}\right)^{0,02} - 1} 0,125$$

$t = 0,303$  detik

Untuk menentukan arus di sisi primer pada relai GFR pada penyulang 20 kV, adalah sebagai berikut:

$$I_{set \text{ 20 kV}} = 0,2 \times \text{CT primer}$$

$$= 0,2 \times 600 \text{ A}$$

$$= 120 \text{ A} \quad (\text{primer})$$

Selanjutnya perhitungan arus di sisi sekunder pada relai GFR pada penyulang 20 kV, adalah sebagai berikut:

$$I_{set \text{ 20 kV}} = \frac{I_{set \text{ 20 kV primer}}}{\text{CT Rasio}}$$

$$= \frac{120 \text{ A}}{600/5}$$

$$= 1 \text{ A} \quad (\text{sekunder})$$

#### 4. PENYETELAN DAN KOORDINASI OVER CURRENT RELAY PADA TRAF0 60 MVA 150/20 KV DAN PADA PENYULANG 20 KV DI GI MENES

Penyetelan Relai Arus Lebih OCR Dan Relai Gangguan Tanah GFR Pada Penyulang 20 kV, Incoming Trafo 20 kV Dan Trafo 150 kV Menentukan arus di sisi primer pada relai OCR pada penyulang 20 kV, adalah sebagai berikut:

$$I_{set \text{ 20 kV}} = 1,2 \times \text{CT primer}$$

$$= 1,2 \times 600 \text{ A}$$

$$= 720 \text{ A} \quad (\text{primer})$$

Selanjutnya perhitungan arus di sisi sekunder pada relai OCR pada penyulang 20 kV, adalah sebagai berikut:

$$I_{set \text{ 20 kV}} = \frac{I_{set \text{ 20 kV primer}}}{\text{CT Rasio}}$$

$$= \frac{720 \text{ A}}{600/5}$$

$$= 6 \text{ A} \quad (\text{sekunder})$$

Perhitungan waktu kerja relai OCR pada penyulang 20 kV yang diinginkan 0,3 detik dan arus hubung singkat berdasarkan tabel (4.2) sebesar 11,97 kA, maka didapat waktu setting pada relai ( $t_d$ ), adalah sebagai berikut:

$$TMS = \frac{\left(\frac{I_{hs}}{I_{set \text{ 20 kV primer}}}\right)^{0,02} - 1}{0,14} t$$

$$TMS = \frac{\left(\frac{11,97 \text{ kA}}{720 \text{ A}}\right)^{0,02} - 1}{0,14} 0,3$$

$TMS = 0,124$  detik

Karena di relai hanya mempunyai TMS dengan range 0,025 – 1,5 dengan step 0,025 maka dipilih  $t_d = 0,125$  detik, untuk mengetahui pemeriksaan waktu kerja relai atau waktu sebenarnya dengan apa yang di inginkan maka dapat di hitung berdasarkan berdasarkan rumus, adalah sebagai berikut:

Perhitungan waktu kerja relai GFR pada penyulang 20 kV yang diinginkan 0,5 detik dan arus hubung singkat berdasarkan tabel (4.2) sebesar 960,095 kA, maka didapat waktu setting pada relai (TMS) dapat dihitung dengan menggunakan rumus, adalah sebagai berikut:

$$TMS = \frac{\left(\frac{I_{hs}}{I_{set \text{ 20 kV primer}}}\right)^{0,02} - 1}{0,14} t$$

$$TMS = \frac{\left(\frac{960,095 \text{ kA}}{120 \text{ A}}\right)^{0,02} - 1}{0,14} 0,5$$

$TMS = 0,152$  detik

Karena di relai hanya mempunyai TMS dengan range 0,025 – 1,5 dengan step 0,025 maka dipilih  $t_d = 0,150$  detik, untuk mengetahui pemeriksaan waktu kerja relai atau waktu sebenarnya dengan apa yang di inginkan maka dapat di hitung berdasarkan rumus, adalah sebagai berikut:

$$t = \frac{0,14}{\left(\frac{I_{hs}}{I_{set \text{ 20 kV primer}}}\right)^{0,02} - 1} t_d$$

$$t = \frac{0,14}{\left(\frac{960,095 \text{ kA}}{120 \text{ A}}\right)^{0,02} - 1} 0,150$$

$t = 0,494$  detik

## 5. KESIMPULAN DAN SARAN

Dari pengujian yang telah dilakukan, maka dapat diambil kesimpulan antara lain:

1. Berdasarkan perhitungan diperoleh nilai setting relai untuk nilai arus lebih pada penyulang 20 kV adalah 720 A (primer) / 6A (sekunder) dan pada relai gangguan tanah adalah 120 A (primer) / 1 A (sekunder), nilai setting relai arus lebih pada incoming trafo 20 kV adalah 2078 A (primer) / 5,19 A (sekunder) dan pada relai gangguan tanah 346,4 A (primer) / 0,86 A (sekunder), nilai setting relai arus lebih pada trafo sisi 150 kV adalah 277,12 A (primer) / 0,92 A (sekunder) dan relai gangguan tanah 115,47 A (primer) / 0,38 A (sekunder).
2. Kurva karakteristik yang dipilih adalah kurva standar inverse (SI) dengan tujuan untuk mendapatkan koordinasi setting relai yang baik antaran relai yang terletak di trafo sisi 150 kV, incoming trafo sisi 20 kV dan penyulang 20 kV.
3. Berdasarkan perhitungan diperoleh setting nilai TMS untuk relai arus lebih pada penyulang 20 kV adalah 0,125 detik dan TMS pada relai gangguan tanah adalah 0,150 detik, nilai setting TMS untuk relai arus lebih pada incoming trafo 20 kV adalah 0,175 detik dan TMS pada relai gangguan tanah adalah 1,150 detik, sedangkan nilai

setting TMS relai arus lebih pada trafo sisi 150 kV 0,300 detik, dan TMS untuk relai gangguan tanah 0,550 detik.

Beberapa saran yang dapat diusulkan adalah sebagai berikut:

1. Agar trafo gardu induk tidak mengalami gangguan atau trip, maka pengecekan peralatan gardu induk harus sering di periksa, terutama pada relai.
2. Perlu dilakukan pengecekan atau evaluasi setting relai pada gardu induk lainnya.
3. Hendaknya dilakukan perbaikan segera mungkin setelah dideteksi adanya kerusakan atau gangguan.

## DAFTAR PUSTAKA

- Gönen, Turan. *Modern Power System Analysis*, John Wiley And Sons Inc, Canada, 1988.
- Instruction Manual BE1-851 Overcurrent Protection System*, Basler Electric, Highland Illinois USA.
- Instruction Manual GEC Overcurrent Relay for Phase and Earth Faults*.
- Komari, *Proteksi Sistem Tenaga Listrik Filosofi, Strategi Dan Analisa Untuk Peningkatan Keandalan*, PT. PLN (Persero) Jasa Pendidikan Dan Pelatihan, Jakarta, 2003.
- Pelatihan O&M Relai Proteksi Gardu Induk*, PT. PLN (Persero) P3B, Jakarta, 2006.