

ANALISIS SETTING PENGAMAN TRANSFORMATOR DAYA DI GARDU INDUK NUSA DUA JIKA TERJADI GANGGUAN HUBUNG SINGKAT SATU PHASA TANAH

I Gusti Agung Putra Sanjaya¹, I Gede Dyana Arjana², I Wayan Rinas³
Jurusan Teknik Elektro dan Komputer, Fakultas Teknik, Universitas Udayana
Email: agungputra101@yahoo.com¹, dyanaarjana@unud.ac.id², rinas@unud.ac.id³

ABSTRAK

Relai REF (*Restricted Earth Fault*) digunakan sebagai peralatan pengaman dari gangguan hubung singkat satu fasa ke tanah, agar arus gangguan tidak mengalir ke titik netral trafo saat putusnya kawat NGR (*Neutral Ground Resistor*). Arus hubung singkat satu fasa ke tanah sebelum putusnya Pengawatan NGR sebesar 288,67 Ampere, sedangkan arus hubung singkat sesudah putusnya Pengawatan NGR sebesar 884,15 Ampere. Hasil analisis pemasangan relai REF pada trafo 60 MVA terhadap gangguan hubung singkat satu fasa ke tanah saat putusnya pengawatan NGR mempunyai kemampuan proteksi yang baik berdasarkan dari perhitungan simulasi gangguan saat putusnya Pengawatan pentanahan NGR, dengan arus hubung singkat sebesar 884,15 Ampere, maka besar arus yang mengalir pada relai REF sebesar 0,263 Ampere, sedangkan relai REF di setting pada 0,233 Ampere, maka dapat di pastikan relai REF sudah bekerja, karena waktu kerja relai REF adalah 0 detik atau tanpa waktu tunda.

Kata Kunci : Relai REF, Arus Hubung Singkat, Pengawatan NGR

ABSTRACT

REF (*Restricted Earth Fault*) Relay is used as protective equipment against single phase short circuit to the ground. It prevents the interference current from flowing into the transformer neutral point when the Neutral Ground Resistor (NGR) wire terminates. The single phase short-circuit current to the ground before the wiring termination was 288.67 NGR Ampere, whereas the short circuit current after the termination was 884.15 Ampere NGR. An analysis of the REF relay's installation on transformer at 60 MVA against short circuit current single phase to ground during the termination of NGR wiring was conducted. The results showed a reasonably good protection capability based on the calculation of the current interruption simulation during the NGR ground wiring termination with the short circuit current of 884.15 Ampere. This finding means that the flow of the current on REF relay was at 0.263 Ampere, while the REF relay was set at 0.233 Ampere. Thus, it can be assured that the REF relay works properly, because the REF relay's working time is 0 second or without time delay.

Key words: REF relay , short circuit current, NGR

1. PENDAHULUAN

Sistem pentanahan langsung adalah dimana titik netral sistem dihubungkan langsung dengan tanpa memasukan suatu impedansi. Salah satu tujuan sistem pentanahan titik netral adalah untuk membatasi tegangan dari fasa-fasa yang tidak terganggu bila terjadi gangguan fasa ke tanah [1]. Peralatan pengaman untuk trafo daya secara khusus tidak tersedia, maka

untuk keamanan harus di batasi arus maksimal 300 A dengan cara memasang NGR (*Neutral Ground Resistor*) 40 Ohm. Jika NGR tidak berfungsi, maka arus gangguan akan langsung mengalir ke titik netral trafo sehingga tidak dapat melindungi trafo jika terjadi gangguan hubung singkat satu fasa tanah. Relai REF (*Restricted Earth Fault*) diperlukan jika terjadi kegagalan pada NGR untuk melindungi trafo. Seperti yang terjadi di Gardu Induk Nusa Dua saat

putusnya kawat pentanahan NGR 40 Ohm pada trafo 3 yang menyebabkan besarnya arus gangguan hubung singkat satu fasa ke tanah. Gardu Induk Nusa Dua terletak dipinggir laut dan dalam posisi *outdoor*, maka akan terjadi korosi yang tinggi sehingga terminal tidak berfungsi dengan baik dan menyebabkan putusnya kawat pentanahan NGR 40 Ohm.

Jenis sistem pentanahan dengan NGR merupakan sistem pentanahan yang paling banyak digunakan pada PT. PLN (persero) selain jenis sistem pentanahan langsung (*solid grounding*). Sistem pentanahan menggunakan NGR dipakai pada sistem sekunder trafo daya untuk mengurangi arus gangguan, karena dikhawatirkan banyak terdapat gangguan yang bisa membahayakan trafo[1].

Studi dilakukan dengan cara mengumpulkan data-data seperti: data trafo 3 GI Nusa Dua, data relai REF dan analisis ini dilakukan dengan perhitungan manual.

2. KAJIAN PUSTAKA

Gangguan hubung singkat adalah gangguan yang terjadi karena adanya kesalahan antara bagian-bagian yang bertegangan diakibatkan dari timbulnya arus yang jauh lebih besar dari pada arus normal. Gangguan hubung singkat yang mungkin terjadi di dalam jaringan sistem kelistrikan adalah gangguan arus hubung singkat satu fasa ke tanah.

Untuk mendapatkan nilai arus hubung singkat satu fasa ke tanah maka diperlukan nilai dari perhitungan menggunakan persamaan umum [2]:

2.1 Menghitung Daya Hubung Singkat Trafo

Perhitungan daya hubung singkat trafo menggunakan persamaan (1) sebagai berikut [2]:

$$MVA_{hs} = \sqrt{3} x kV_{LL} x I_{hs} MVA \quad (1)$$

Keterangan:

MVA_{hs} adalah daya hubung singkat trafo

kV_{LL} adalah tegangan dasar

I_{hs} adalah arus hubung singkat trafo

2.2 Menghitung Impedansi Dasar Trafo

Perhitungan Impedansi Dasar Trafo menggunakan Persamaan (2) sebagai berikut [2]:

$$Z_d = \frac{kV_{dasar}^2}{MVA_{dasar}} \quad (2)$$

Keterangan:

Z_d adalah impedansi dasar Trafo

kV_{dasar}^2 adalah tegangan sisi sekunder trafo

MVA_{dasar} adalah kapasitas daya trafo

2.3 Menghitung Impedansi Trafo

Menghitung impedansi trafo menggunakan Persamaan (3) sebagai berikut [2]:

$$Z_t = 12\% x Z_d \quad (3)$$

Keterangan:

Z_t adalah Impedansi Trafo

Z_d adalah impedansi dasar trafo

2.4 Menghitung Reaktansi Trafo

Menghitung reaktansi trafo menggunakan Persamaan (4) sebagai berikut [2]:

$$X_t = Z_t x Z_d \quad (4)$$

Keterangan:

X_t adalah Impedansi reaktansi trafo

Z_t adalah Impedansi trafo

Z_d adalah Impedansi dasar trafo

2.5 Menghitung Impedansi Sumber Trafo

Perhitungan impedansi sumber trafo menggunakan Persamaan (5) sebagai berikut [2]:

$$Z_s = \frac{(kV_{LL})}{MVA_{hs}} \quad (5)$$

Keterangan:

Z_s adalah impedansi sumber

kV_{LL} adalah tegangan dasar

MVA_{hs} adalah daya hubung singkat

2.6 Menghitung Z_1 Ekiivalen dan Z_2 Ekiivalen

Menghitung Z_1 ekiivalen dan Z_2 ekiivalen menggunakan Persamaan (6) sebagai berikut [2]:

$$Z_{1eki} \text{ dan } Z_{2eki} = Z_d + Z_s \quad (6)$$

Keterangan:

Z_{1eki} adalah impedansi ekiivalen urutan positif

Z_{2eki} adalah impedansi ekiivalen urutan negatif

2.7 Menghitung Arus Hubung Singkat Satu Fasa ke Tanah Sebelum Putusnya Pengawatan NGR 40 Ohm

Perhitungan arus hubung singkat satu fasa ke tanah sebelum putusnya

pengawatan NGR 40 Ohm menggunakan Persamaan (7) sebagai berikut [2]:

$$I_{ngr}: I_{1\phi 20} = \frac{V_s \cdot 1000}{\sqrt{3} \cdot NGR} \quad (7)$$

Keterangan:

I_{ngr} adalah nilai arus pada NGR

$I_{1\phi 20}$ adalah arus hubung singkat satu fasa sisi 20 kV

V_s adalah tegangan pada sisi sekunder

2.8 Menghitung Arus Hubung Singkat Satu Fasa ke Tanah saat Putusnya Pengawatan NGR 40 Ohm

Menghitung arus hubung singkat satu fasa ke tanah saat putusnya pengawatan NGR 40 Ohm menggunakan persamaan (8) sebagai berikut [2]:

$$\frac{V}{Z} = \frac{3xV_{ph}}{2(Z_{1eki} + Z_{2eki}) + Z_{0eki}} \quad (8)$$

Keterangan:

V adalah tegangan sumber

Z adalah impedansi jaringan (Ohm)

V_{ph} adalah tegangan fasa

2.9 Restricted Earth Fault (REF)

Relai gangguan tanah terbatas atau REF berfungsi untuk mengamankan trafo bila terjadi gangguan satu fasa ke tanah di dekat titik netral trafo yang tidak dirasakan oleh relai differensial dalam mengamankan dari gangguan hubung singkat satu fasa ke tanah di dalam belitan trafo.

REF dipasang pada trafo daya yang titik netralnya ditanahkan langsung (solid) atau melalui tahanan (NGR) 40 Ohm. REF diperlukan karena sensitifitas relai differensial sangat terbatas, terutama dalam mendeteksi terjadinya hubung singkat di dekat titik netral [3].

Perhitungan *setting* relai ini mengacu pada buku petunjuk *setting (instruction manual book)* yang memang diperuntukan relai REF dalam perhitungan nantinya menggunakan data dari besarnya arus hubung singkat satu fasa ke tanah pada trafo dengan titik netral yang ditanahkan melalui pentanahan titik netral. Selanjutnya hasil perhitungan akan dibandingkan dengan *setting* relai yang ada sehingga lebih jelas fungsi dari relai REF tersebut untuk mengamankan gangguan hubung singkat satu fasa ke tanah pada internal trafo. Dalam perhitungan *setting* relai REF diperlukan persamaan mengacu pada buku pedoman [4]:

a. *Setting* arus relai (I_R)

Perhitungan *setting* arus relai menggunakan persamaan (9) sebagai berikut [3]:

$$I_{mean} = \sqrt{I_{max} \times I_{min}} \quad (9)$$

$$I_R = g = 10\% + \left[\frac{I_{max} - I_{mean}}{I_{mean}} \times 100\% \right] \quad (10)$$

Keterangan:

I_{mean} adalah arus primer pada tap pertengahan

I_{max} adalah arus primer pada tap tertinggi

I_{min} adalah arus primer pada tap terendah

$g = 10\%$ adalah *basic setting*

b. Sensitifitas arus primer (I_p)

Perhitungan sensitifitas primer menggunakan persamaan (11) sebagai berikut [3]:

$$I_p = Nx\{I_R + (n + I_E)\} \quad (11)$$

Keterangan:

N adalah ratio trafo arus yang terpasang

n adalah jumlah trafo arus yang di paralel

I_E adalah arus magnetisasi trafo arus

c. *Setting* tegangan relai (V_S)

Menghitung *setting* tegangan relai menggunakan persamaan (12) sebagai berikut [3]:

$$V_S = \frac{I_{hs \max \text{trafo}}}{N} \times (R_{Ct} + 2R_{loop}) \quad (12)$$

Keterangan:

$I_{hs \max \text{trafo}}$ adalah arus hubung singkat maksimal pada trafo daya

R_{Ct} adalah tahanan belitan sekunder trafo arus

R_{loop} adalah tahanan pengawatan dari trafo arus sampai ke relai

d. *Tegangan knee point* (V_K)

Perhitungan *tegangan knee point* menggunakan persamaan (13) sebagai berikut [3]

$$V_K = 2 \times V_S \quad (13)$$

Keterangan:

V_S adalah *setting* tegangan relai

e. *Setting* tahanan *stabiliser* relai (RST)

Perhitungan *setting* tahanan *stabiliser* relai menggunakan persamaan (14) sebagai berikut [3]:

$$R_{ST} = \frac{V_S}{I_R} - \frac{V_A}{I_R^2} \quad (14)$$

Keterangan:

V_S adalah *setting* tegangan relai

V_A adalah burden relai

I_R adalah *setting* arus relai

2.10 Menentukan Nilai TMS (*Time Multi Setting*) untuk Tiap Gangguan Hubung Singkat pada Relai Trafo

Hasil perhitungan arus gangguan hubung singkat, selanjutnya digunakan untuk menentukan nilai setelan waktu TMS. Karakteristik dari relai *inverse* adalah relai baru akan bekerja bila yang mengalir pada relai tersebut melebihi besarnya arus *setting* (I_s) yang telah ditentukan dan lamanya waktu relai bekerja untuk memberikan komando *tripping* adalah paling lambat sesuai waktu *setting* (T_s) yang dipilih. Setelah mengetahui jenis relai *invers* yang digunakan maka nilai TMS dapat diketahui melalui persamaan berikut [5] :

$$TMS = t_{set} \times \frac{\left(\frac{I_{f1\phi}}{I_{set\ primer}} \right)^{0,02-1}}{0,14} \quad (15)$$

Nilai TMS yang telah ditentukan dapat digunakan untuk mencari nilai waktu tunda (t_d) relai pada saat terjadi gangguan berikut adalah persamaan untuk mencari nilai waktu tunda kerja (t_d) yaitu :

2.11 Waktu Kerja Relai saat Gangguan Hubung Singkat Satu Fasa ke Tanah

Perhitungan nilai waktu kerja saat gangguan hubung singkat satu fasa ke tanah dapat dihitung sebagai berikut [5] :

$$t = \frac{TMS \times 0,14}{\left(\frac{I_{f1\phi}}{I_{set\ primer}} \right)^{0,02-1}} \quad (16)$$

2.12 Analisis Gangguan Satu Fasa ke Tanah pada Belitan Trafo

Fungsi relai REF adalah untuk mengamankan gangguan satu fasa ke tanah yang terjadi pada internal trafo akibat sensitifitas dari relai differensial yang terbatas maka dalam analisis gangguan pada "X%" belitan trafo perlu diketahui agar manfaat pemasangan relai REF menjadi nyata untuk meningkatkan keandalan proteksi trafo [6].

- Jika terjadi gangguan pada 100 % belitan trafo sisi skunder ke tanah maka besarnya arus gangguan satu fasa ke tanah adalah I_f .
- Maka pada gangguan di titik "X%" kumparan sisi skunder ke tanah besar arus gangguan adalah sebagai berikut [6] :

$$\frac{X}{100} \times I_f \quad (17)$$

3. METODE PENELITIAN

3.1 Tahapan Penelitian

Analisis dalam penelitian ini dilakukan dalam beberapa tahapan sebagai berikut.

- Pengumpulan data *transformator* 3 Gardu Induk Nusa Dua.
- Pengumpulan data relai *Restricted Earth Fault*.
- Melakukan perhitungan arus hubung singkat satu fasa ketanah sebelum dan sesudah putusya pengawatan NGR (*Neutral Ground Resistor*) 40 Ohm pada *transformator* 3 Gardu Induk Nusa Dua
- Melakukan perhitungan *setting* arus relai REF (*Restricted Earth Fault*) pada *transformator* 3 Gardu Induk Nusa Dua terhadap gangguan hubung singkat satu fasa ketanah saat putusya pengawatan NGR 40 Ohm

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Sistem pengaman Trafo 3 Gardu Induk Nusa Dua

Pada analisis perhitungan ini, akan lebih membahas tentang proteksi gangguan arus lebih pada trafo khususnya pada gangguan didekat titik netral trafo, maka diperlukan sistem pengaman yang pada dasarnya berfungsi untuk melepaskan atau memutus bagian yang terkena gangguan, sehingga arus bisa padam dan gangguan tidak sampai mengenai bagian lain.

4.2 Data Trafo Gardu Induk

Data – data yang digunakan dalam perhitungan dapat dilihat pada Tabel 1 sebagai berikut :

Tabel 1. Data Trafo 3 Gardu Induk Nusa Dua

Daya	60 MVA
Impedansi Trafo	12 %
Tegangan Primer	150 kV
Tegangan Sekunder	20 kV
Belitan Bintang	Yyn0(d1)
I Nominal 150 kV	230,95 A
I Nominal 20 kV	1732,1 A
Ratio C.T Primer (150kV)	400:1
Ratio C.T Sekunder (20kV)	2000:5
Merek	Unindo
NGR	40Ω
Arus hubung singkat trafo (I_{hs})	9,72156 kA
Arus primer pada tap terendah (I_{min})	148 A
Arus primer pada tap tertinggi (I_{max})	190 A

(Sumber : PLN, 2015)

4.3 Perhitungan Arus Hubung Singkat Satu Fasa ke Tanah

Gangguan arus hubung singkat satu fasa ke tanah bisa terjadi di dalam trafo, berikut adalah gangguan arus hubung singkat satu fasa ke tanah sebelum putusya

kawat NGR dan sesudah putusnya kawat NGR :

- a. I_{hs} 1Ø tanah pada sisi 20 kV sebelum putusnya kawat NGR menggunakan persamaan (5) sebagai berikut :

$$\begin{aligned} I_{NGR}: I_{1\emptyset 20} &= \frac{V_s \cdot 1000}{\sqrt{3} \cdot NGR} \\ &= \frac{20 \cdot 1000}{\sqrt{3} \cdot 40} \\ &= \frac{20 \cdot 1000}{173,40} \\ &= 288,675 \text{ A} \end{aligned}$$

- b. I_{hs} 1Ø tanah pada sisi 20 kV saat putusnya kawat NGR

Perhitungan nilai arus hubung singkat satu fasa ke tanah sesudah putusnya kawat NGR, maka diperlukan nilai dari perhitungan daya hubung singkat, reaktansi trafo, impedansi sumber trafo, impedansi urutan positif dan urutan negatif sebagai berikut :

1. Daya Hubung Singkat Trafo

Menghitung daya hubung singkat trafo menggunakan Persamaan (1) sebagai berikut :

$$\begin{aligned} MVA_{hs} &= \sqrt{3} \times kV_{LL} \times I_{hs} \text{ MVA} \\ &= 1,732 \times 20 \times 9,72156 \\ &= 336 \text{ MVA} \end{aligned}$$

2. Impedansi Dasar Trafo

Menghitung impedansi dasar trafo menggunakan Persamaan (2) sebagai berikut :

$$\begin{aligned} Z_d &= \frac{kV_{dasar}^2}{MVA_{dasar}} \\ Z_d &= \frac{20^2}{\frac{60}{40.000}} \\ &= \frac{40.000}{60} = 6,67 \text{ Ohm} \end{aligned}$$

3. Impedansi Trafo

Perhitungan Impedansi Trafo menggunakan Persamaan (3) sebagai berikut :

$$\begin{aligned} Z_t &= 12\% \times Z_d \\ &= 12\% \times 6,67 \text{ Ohm} \\ &= 0,8004 \text{ pu} \end{aligned}$$

4. Reaktansi Trafo

Perhitungan reaktansi trafo menggunakan Persamaan (4) sebagai berikut :

$$X_t = Z_t \times Z_d$$

$$\begin{aligned} &= 0,8004 \times 6,67 \\ &= 5,34 \text{ Ohm} \end{aligned}$$

5. Impedansi Sumber Trafo

Perhitungan impedansi sumber trafo menggunakan Persamaan (5) sebagai berikut :

$$\begin{aligned} Z_s &= \frac{(kV_{LL})}{MVA_{hs}} \\ &= \frac{20^2}{336} \\ &= 1,190 \text{ Ohm} \end{aligned}$$

6. Impedansi Urutan Positif dan Negatif

Perhitungan impedansi urutan positif dan negatif menggunakan Persamaan (6) sebagai berikut :

$$\begin{aligned} Z_{1eki} \text{ dan } Z_{2eki} &= Z_d + Z_s \\ &= 6,67 + 1,190 \\ &= 7,86 \text{ Ohm} \\ X_0 &= 3 \times X_t \\ &= 3 \times 5,34 \\ &= 7,86 \text{ Ohm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Z_{0eki} &= X_0 + 3 \times 0,7 \\ &= 16,02 + 3 \times 0,7 \\ &= 23,46 \text{ Ohm} \end{aligned}$$

Berdasarkan nilai yang di dapat dari perhitungan diatas maka, I_{hs} 1Ø ke tanah pada sisi 20 kV saat putusnya kawat NGR menggunakan Persamaan (7) sebagai berikut :

$$\begin{aligned} I = \frac{V}{Z} &= \frac{3 \times V_{ph}}{2(Z_{1eki} + Z_{2eki}) + Z_{0eki}} \\ &= \frac{3 \times 20000 / \sqrt{3}}{2(7,86) + 23,46} \\ &= \frac{34641,016}{39,18} \\ &= 884,15 \text{ A} \end{aligned}$$

4.4 Perhitungan Nilai Setting Arus pada Relai REF

Perhitungan untuk menentukan setting relai REF adalah sebagai berikut :

Data – data yang digunakan :

1. Ratio trafo arus (N) adalah 2000/5 A
2. Resistansi kumparan sekunder trafo arus (R_{CT2}) adalah 3,0 Ohm
3. Arus magnetisasi trafo arus adalah 0,1

4. Jumlah trafo arus yang diparalel (n) adalah 4
5. Resistansi loop ($2R_L$) adalah 2,5 Ohm
6. Power burden relai REF adalah 1,0 VA
7. Resistansi eksternal relai adalah 1,5k Ohm

Perhitungan nilai I_{mean} dapat dihitung dengan Persamaan (8) sebagai berikut :

$$I_{mean} = \sqrt{I_{max} \times I_{min}}$$

$$I_{mean} = \sqrt{190 \times 148}$$

$$= 167,6$$

Setting sensitivitas pengaman trafo dapat dihitung dengan persamaan (9) sebagai berikut :

$$g = 10\% + \left[\frac{I_{max} - I_{mean}}{I_{mean}} \times 100\% \right]$$

$$g = 10\% + \left[\frac{190 - 167,6}{167,6} \times 100\% \right]$$

$$g = 23,3 \%$$

Dari perhitungan diatas diperoleh :
 $I_R = 23,3 \%$ dari 1 Ampere = 0,233 Ampere

Perhitungan sensitivitas arus primer (I_P) dapat dihitung dengan Persamaan (10) sebagai berikut :

$$I_P = N \times \{I_R + (n \times I_E)\}$$

$$I_P = \frac{2000}{5} \times \{0,233 + (4 \times 0,1)\}$$

$$I_P = 252 \text{ A}$$

Setting tegangan minimum (V_S) dapat dihitung dengan Persamaan (11) sebagai berikut :

$$V_S \geq \frac{I_{hs \text{ max trafo}}}{N} \times (R_{CT} + 2R_{loop})$$

$$V_S = \frac{9720}{400} \times (3 + 2,5)$$

$$V_S = 133,65 \text{ V}$$

Nilai tegangan *knee point* (V_K) dapat dihitung dengan Persamaan (12) sebagai berikut :

$$V_K = 2 \times V_S$$

$$V_K = 2 \times 133,65$$

$$= 267,3$$

Nilai tahanan stabiliser relai REF dapat dihitung dengan menggunakan Persamaan (13) sebagai berikut :

$$R_{ST} = \frac{V_S}{I_R} - \frac{VA}{I_R^2}$$

$$= \frac{133,65}{0,233} - \frac{1,0}{0,233^2}$$

$$= 573,6 - 18,45$$

$$= 555 \text{ Ohm}$$

Jadi nilai tahanan stabiliser (R_{ST}) relai REF sesuai perhitungan adalah 555 Ohm.

4.5 Setting Relai yang Terpasang

Fasilitas *basic setting* yang ada pada relai REF model MCAG – 14C 1BB0005B terpasang pada pengaman trafo 3 Gardu Induk Nusa Dua adalah :

I_S : 0,1 . 0,15 . 0,2 . 0,25 . 0,3 . 0,35 . 0,4 A
 Frekuensi = 50 HZ
 I_P = 180 A
 V_S = 133 V

Relai di *setting* pada arus (I_R) : 0,2 A
 Dengan tahanan stabiliser (R_{ST}) : 610 Ohm

Sesuai perhitungan didapatkan *setting* relai REF " I_R " = 0,233 Ampere. *Setting* arus relai yang terpasang " I_R " = 0,2 Ampere. Perbedaan nilai *setting* REF yang terjadi antara hasil perhitungan dengan yang terpasang dilapangan, karena terbatasnya fasilitas *setting* pada relai tersebut. Sehingga *setting* yang ada mengacu pada *basic setting* normal trafo ($g = 0,2$) yang berpedoman pada buku *setting* relai 1 MDB 04005-EN ABB, dengan demikian analisis *setting* relai diatas adalah benar.

4.6 Perhitungan Nilai TMS (Time Multi Setting) pada Relai Trafo

Nilai TMS untuk gangguan hubung singkat satu fasa ketanah dapat dihitung dengan Persamaan (14) sebagai berikut :

$$TMS = t_{set} \times \frac{\left(\left(\frac{I_{f1\phi}}{I_{set \text{ primer}}} \right)^{0,02} - 1 \right)}{0,14}$$

$$= 0 \frac{\left(\left(\frac{884,15 \times 10^3}{0,233} \right)^{0,02} - 1 \right)}{0,14}$$

$$= 0$$

4.7 Perhitungan Waktu Kerja Relai

Waktu kerja relai pada saat gangguan hubung singkat satu fasa ke tanah dapat

dihitung berdasarkan dari nilai TMS yang telah dihitung sebelumnya.

a. Waktu Kerja Relai saat Gangguan Hubung Singkat Satu Phasa ke Tanah

Perhitungan waktu kerja saat gangguan hubung singkat satu phasa ke tanah dengan menggunakan Persamaan (15) sebagai berikut :

$$t = \frac{TMS \times 0,14}{\left(\left(\frac{I_{f1\phi}}{I_{set primer}} \right)^{0,02-1} \right)}$$

$$= \frac{0 \times 0,14}{\left(\left(\frac{884,15}{0,233} \right)^{0,02-1} \right)}$$

$$= 0 \text{ detik}$$

4.8 Perhitungan Simulasi Gangguan pada Belitan Trafo

Perhitungan simulasi gangguan dengan menggunakan Persamaan (16) dalam keadaan tertentu pada belitan phasa "a" terjadi gangguan hubung singkat satu phasa ke tanah dengan jarak 30% dari titik netral trafo, sehingga :

$$I_{\phi a} = \frac{X}{100} \times I_f$$

$$I_{\phi a} = \frac{30}{100} \times 884,15$$

$$= 265,245 \text{ A}$$

Perhitungan diatas berarti terjadi gangguan ke tanah pada phasa "a" sebesar 265,245 Ampere, sehingga mengakibatkan ada arus yang mengalir menuju titik netral trafo sebesar : 265,245 A, maka I_R adalah :

$$I_0 = I_{\phi a} = I_p = 265,245 \text{ A}$$

$$I_R = [I_{\phi a} \times N] - 0,4$$

$$I_R = \left[265,245 \times \frac{5}{2000} \right] - 0,4$$

$$I_R = 0,263 \text{ A}$$

4.9 Analisis Hasil Perhitungan

A. Hasil perhitungan arus hubung singkat satu phasa ke tanah

Dari hasil perhitungan arus hubung singkat satu phasa ke tanah pada trafo 3 di Gardu Induk Nusa Dua, maka didapatkan besar dari arus hubung singkat satu phasa ke tanah yang menjadi acuan untuk menghitung *setting* arus relai REF (*Restricted Earth Fault*) guna memproteksi bagian didekat titik netral trafo.

Berdasarkan hasil perhitungan arus hubung singkat pada trafo 3 Gardu Induk Nusa Dua dengan kapasitas 60 MVA, berikut adalah Tabel 2 perbandingan hasil perhitungan arus hubung singkat satu phasa ke tanah sebelum putusnya pengawatan NGR dan sesudah putusnya pengawatan NGR :

Tabel 2. Perbandingan Arus Hubung Singkat Satu Phasa ke Tanah

No	Hasil Perhitungan	Trafo 60 MVA
1	Ihs sebelum putusnya kawat NGR	288,675 A
2	Ihs sesudah putusnya kawat NGR	884,15 A

Berikut adalah Tabel 3 perbandingan hasil perhitungan nilai *setting* arus pada relai REF di trafo 60 MVA :

Tabel 3. Perbandingan *Setting* Relai REF Antara Hasil Perhitungan dengan yang Terpasang

<i>Setting</i> pada relai REF	Hasil perhitungan	Terpasang
V_s	133,65 V	133 V
I_R	0,233 A	0,2 A
R_{ST}	555 Ohm	610 Ohm

B. Analisis perbandingan dari perhitungan arus hubung singkat satu phasa ke tanah

Analisis dari hasil perhitungan gangguan hubung singkat satu phasa ke tanah sebelum putusnya kawat NGR 40 Ohm pada trafo berkapasitas 60 MVA, bahwa hasil dari perhitungan arus gangguan hubung singkat satu phasa ke tanah tersebut adalah sebesar 288,675 A dan arus gangguan hubung singkat satu phasa ke tanah sesudah putusnya kawat

NGR 40 Ohm adalah sebesar 884,15 A, perbedaan ini disebabkan oleh putusnya kawat NGR 40 Ohm yang menyebabkan arus gangguan huung singkat satu phasa ke tanah menjadi besar.

C. Analisis perbandingan *setting* relai REF sisi sekunder dan hasil perhitungan dengan *Setting* yang Terpasang sebagai berikut :

1. *Setting* relai berdasarkan perhitungan
 - a. *Setting* arus pada relai (I_R) adalah 0,233 A.
 - b. *Setting* tahanan stabiliser (R_{ST}) adalah 555 Ohm.
 - c. Tegangan kerja minimum (V_S) adalah 133,65 V.
2. *Setting* relai terpasang
 - a. *Setting* arus pada relai (I_R) adalah 0,2 A.
 - b. *Setting* tahanan stabiliser (R_{ST}) adalah 610 Ohm.
 - c. Tegangan kerja minimum (V_S) adalah 133 V.

Perbedaan *setting* relai REF antara hasil perhitungan dengan yang terpasang yaitu terjadi karena :

- a. Fasilitas range *setting* yang tercantum pada relai REF adalah : $I_S = 0,1 \cdot 0,15 \cdot 0,2 \cdot 0,25 \cdot 0,3 \cdot 0,35 \cdot 0,4 \text{ A}$.
 - b. Nilai *setting* sesuai perhitungan tidak terdapat pada fasilitas *setting* normal (g) yaitu : $20\% \times 1 = 0,2$ Ampere, tujuannya adalah agar sensitivitas relai menjadi baik.
- D. Analisis perhitungan simulasi gangguan pada belitan trafo

Berdasarkan dari perhitungan simulasi gangguan pada belitan trafo, besar arus yang mengalir pada relai REF adalah sebesar 0,263 A, sedangkan relai REF di *setting* pada 0,233 A. Saat terjadi gangguan hubung singkat satu phasa ke tanah dengan waktu kerja 0 detik atau tanpa waktu tunda

5. KESIMPULAN

Kesimpulan dari analisis perhitungan skripsi ini adalah sebagai berikut :

- a. Pehitungan dari arus hubung singkat satu phasa ke tanah pada trafo 3 Gardu Induk Nusa Dua dengan menggunakan NGR (*Neutral Ground Resistor*) 40 Ohm sebesar 288,67 A, sedangkan arus hubung singkat satu

phasa ke tanah setelah putusnya kawat pentanahan NGR 40 Ohm adalah sebesar 884,15 A.

- b. Sistem pengaman trafo harus dilengkapi dengan relai *Restricted Earth Fault* (REF) untuk mengamankan gangguan hubung singkat satu phasa ke tanah, relai REF akan bekerja saat putusnya kawat pentanahan NGR 40 Ohm, karena relai REF di *setting* 0 detik atau tanpa waktu tunda.
- c. Analisis perhitungan *setting* relai REF sebagai proteksi terhadap gangguan hubung singkat satu phasa ke tanah, bahwa *setting* arus relai REF yang didapat adalah sebesar 0,233 Ampere. Berdasarkan hasil perhitungan simulasi gangguan arus hubung singkat satu phasa ke tanah, maka besar arus yang mengalir pada relai REF adalah sebesar 0,263 Ampere, sedangkan relai REF pada perhitungan di *setting* pada 0,233 Ampere. Saat terjadi gangguan hubung singkat satu phasa ke tanah pada saat putusnya kawat pentanahan NGR 40 Ohm, maka relai REF sudah bekerja untuk memutus PMT.

6. DAFTAR PUSTAKA

- [1] T. Hutaauruk, *Pengetanahan Netral Sistem tenaga & Pengetanahan Peralatan*. Jakarta: Erlanga, 1991.
- [2] W. William and J. . Stevenson, *Analisis Sistem Tenaga*. Jakarta: Erlangga, 1994.
- [3] E. Napitupulu, "Relay Proteksi." PT. PLN (Persero) Unit Pendidikan dan Pelatihan Semarang - Jawa Tengah, 1995.
- [4] G. Alstom, *ABB Protection and Control 1 MDB 04005-EN and G 14,34 High Stability Circulating Current Relays*. New Dehli: Weley Estern Limited, 1992.
- [5] S. Komari and W. Soekarto, "Kaidah Umum Penyetelan Rele." PT. PLN Pusdiklat, 1995.
- [6] J. Karmain and Felienty, "Sistem Pengaman Tenaga Listrik." Sistem Pengaman Tenaga Listrik Jawa Bali, 1995.