

Studi Sistem Pentanahan Pada Transformator Daya 60 MVA di GIS 150 KV

Kathelya Nindya Ulina¹, Samsurizal², Andi Makkulau³, Nurmiati Pasra⁴

¹²³⁴Program Studi Teknik Elektro

Institut Teknologi PLN

Jalan Lingkar Luar Barat, Duri Kosambi, Jakarta 11750

samsurizal@itpln.ac.id

Abstract

Grounding system is one way to reduce the effect of an electric current that can occur by several kinds of causes, such as leakage current or short circuit and the result of lightning surges. One method of grounding on a power transformer used by GIS Jatiwaringin is to use a NGR (Neutral Grounding Resistor) mounted on the 20 kV side, while on the 150 kV side it uses direct grounding (solid grounding) and the presence of a Ground Fault Relay. The value of single-phase short circuit current to the ground with resistance $R = 12 \Omega$ at the location with the percentage of disturbance of 25% that is equal to 928.48Ω . Meanwhile, the value of single-phase short-circuit current to the ground without passing R at the location with a disturbance percentage of 25% is equal to 4066.55Ω . Thus, the effect of the NGR on a single-phase to short-circuit fault current is to limit the one-phase short-circuit fault current to the ground so it does not flow to the neutral point of the transformer. The TMS value on the GFR on the outgoing side based on calculations is 0.11 and based on the installed relay is 0.12. Meanwhile, the TMS value on the GFR on the incoming side based on calculations is 0.27 and based on the installed relay is 0.15. Then, at the location with 25% disturbance percentage is 0.382 s. The difference between the relay's working time on the outgoing side and the incoming side is still in accordance with applicable standards, with a maximum difference of 0.4 seconds.

Keywords: NGR, GFR, single phase to short circuit current, TMS

Abstrak

Sistem pentanahan merupakan salah satu cara pengurangan pengaruh arus listrik yang dapat terjadi oleh beberapa macam penyebab, seperti arus bocor atau hubung serta akibat adanya surja petir. Salah satu metode pentanahan pada transformator daya yang digunakan GIS Jatiwaringin adalah dengan menggunakan NGR (Neutral Grounding Resistor) yang dipasang pada sisi 20 kV, sedangkan pada sisi 150 kV menggunakan pentanahan langsung (solid grounding) serta adanya Ground Fault Relay. Nilai arus hubung singkat satu fasa ke tanah dengan menggunakan $R = 12 \Omega$, pada lokasi gangguan 25% sebesar 928.48Ω . Sedangkan, nilai arus hubung singkat satu fasa ke tanah tanpa melewati R pada lokasi gangguan 25% sebesar 4066.55Ω . Sehingga, pengaruh NGR terhadap arus gangguan hubung singkat satu fasa ke tanah ialah membatasi arus gangguan hubung singkat satu fasa ke tanah agar tidak mengalir ke titik netral transformator. Nilai TMS pada GFR pada sisi outgoing berdasarkan perhitungan sebesar 0.11 dan berdasarkan rele yang terpasang sebesar 0.12. Sedangkan, nilai TMS pada GFR pada sisi incoming berdasarkan perhitungan sebesar 0.27 dan berdasarkan rele yang terpasang sebesar 0.15. Kemudian, pada lokasi gangguan 25% sebesar 0.382 s. Selisih waktu kerja relay pada sisi outgoing dengan sisi incoming masih sesuai dengan standar yaitu maksimal selisih sebesar 0.4 detik.

Kata kunci: NGR, GFR, arus hubung singkat satu fasa ke tanah, TMS

I. PENDAHULUAN

Pada gardu induk terdapat salah satu peralatan utama yaitu transformator daya. Transformator dan area switchyard mempunyai peranan yang penting pada proses penyaluran dan penghubung listrik dari pembangkit ke jaringan transmisi. Untuk mendukung hal tersebut maka perlu

diterapkan suatu sistem pengamanan atau proteksi agar keandalan sistem tersebut dapat dijaga. [1]. Sistem pentanahan merupakan salah satu cara pengurangan pengaruh arus listrik yang dapat terjadi oleh beberapa macam penyebab, seperti terdapatnya arus bocor atau hubung singkat akibat kegagalan isolasi dan bencana alam serta akibat adanya surja petir. Salah satu metode

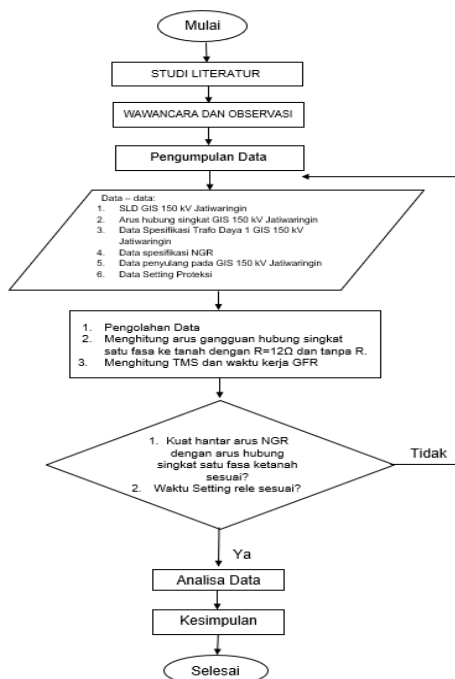
pentanahan pada transformator daya yang digunakan GIS Jatiwaringin adalah dengan menggunakan NGR (Neutral Grounding Resistor) yang dipasang pada sisi 20 kV, sedangkan pada sisi 150 kV menggunakan pentanahan langsung (solid grounding). Ketika ada gangguan maka selain membatasi arus gangguan tersebut, NGR juga menganalisa besar arus gangguan dan mengirimkan sinyal melalui current transformer ke ground fault relay yang akan memutuskan circuit breaker bila arus gangguannya melebihi yang diperbolehkan transformator. Oleh karena itu, untuk mengatasi hal tersebut dibutuhkan suatu pengamanan berupa sistem pentanahan agar bahaya yang disebabkan gangguan tersebut dapat dicegah.

II. METODE

A. Bagan Alir Penelitian

Dibawah ini merupakan diagram alir yang dimulai dengan persiapan - persiapan dalam bentuk persiapan personal, pengumpulan jenis data yang dibutuhkan kemudian data-data tersebut di analisa dan dilakukan perhitungan

Gambar 2.1 Flow chart penelitian



B. Menghitung Impedansi

Untuk menghitung impedansi sumber pada sisi 20 kV maka harus diketahui terlebih dahulu nilai kapasitas daya hubung singkat (MVA). Kapasitas daya hubung singkat dapat dihitung dengan menggunakan rumus sebagai berikut [2]:

$$MVA_{hs} = I_{hs} 3\phi \max x (v_{primer\ trafo} x \sqrt{3}) \quad (1)$$

Dimana:

MVA_{hs} = kapasitas daya hubung singkat GI (MVA)

$I_{hs} 3\phi \max$ = arus hubung singkat 3 fasa maks GI (kA)

$V_{primer\ trafo}$ = tegangan primer trafo (kV)

Setelah menghitung kapasitas daya hubung singkat kemudian hitung terlebih dahulu impedansi sumber di sisi 150 kV, dengan menggunakan rumus sebagai berikut [2]:

$$Z_{(sisi\ 150\ kV)} = \frac{(kV)^2}{MVA_{hs}} \quad (2)$$

Dimana:

$Z_{(sisi\ 150\ kV)}$ = Impedansi sumber pada sisi 150 kV (Ω)

kV = Tegangan sisi primer trafo tenaga (kV)

MVA_h = Kapasitas daya hubung singkat GI (MVA)

Setelah didapatkan hasil impedansi sumber pada sisi 150 kV, maka baru impedansi sumber pada sisi 20 kV dapat dihitung dengan menggunakan rumus sebagai berikut [2]:

$$Z_{(sisi\ 20\ kV)} = \frac{kV_{(sisi\ sekunder\ trafo)}^2}{kV_{(sisi\ primer\ trafo)}^2} x Z_{(sisi\ 150\ kV)} \quad (3)$$

Untuk mencari nilai reaktansi trafo dalam ohm dihitung dengan cara sebagai berikut:

Langkah pertama mencari nilai ohm pada 100% untuk trafo pada 20 kV, yaitu dengan menggunakan rumus [2]:

$$Z_T = \frac{kV^2_{sisi\ sekunder}}{MVA_{trafo}} \quad (4)$$

Dimana:

Z_T = Impedansi trafo (Ω)

$kV^2_{sisi\ sekunder}$ = Tegangan sisi sekunder trafo (kV)

MVA_{trafo} = Kapasitas daya trafo (MVA)

Lalu tahap selanjutnya yaitu mencari nilai reaktansi tenaganya. Untuk menghitung reaktansi urutan positif dan negatif ($X_{t1} = X_{t2}$) dihitung dengan menggunakan rumus:

$$X_T = \frac{\% \text{ yang diketahui} \times Z_t \text{ (pada } v \text{ 100\%)}}{100} \quad (5)$$

Sebelum menghitung reaktansi urutan nol (X_{t0}) terlebih dahulu harus diketahui data trafo tenaga itu sendiri yaitu data dari kapasitas belitan delta yang ada dalam trafo:

1. Untuk trafo tenaga dengan hubungan belitan ΔY dimana kapasitas belitan delta sama besar dengan kapasitas belitan Y, maka $X_{t0} = X_{t1}$
2. Untuk trafo tenaga dengan hubungan belitan Y_{yd} dimana kapasitas belitan delta (d) biasanya adalah sepertiga dari kapasitas belitan Y (belitan yang dipakai untuk menyalurkan daya, sedangkan belitan delta tetap ada di dalam tetapi tidak dikeluarkan kecuali satu terminal delta untuk ditanahkan), maka nilai

$$X_{t0} = 3 \times X_{t1} \quad (6)$$

Untuk perhitungan impedansi penyulang, perhitungannya tergantung dari besarnya impedansi per km dari penyulang yang akan dihitung, dimana besar nilainya tergantung pada jenis penhantarnya. Contoh besarnya nilai impedansi suatu penyulang : $Z = (R + jX)$. Sehingga untuk impedansi penyulang dapat ditentukan dengan menggunakan rumus [2]:

1. Urutan positif dan urutan negatif

$$Z_1 = Z_2 = \frac{\% \text{ panjang} \times \text{panjang penyulang (km)}}{100 \times Z_{1/2} (\Omega)} \quad (7)$$

Dimana :

Z_1 = Impedansi urutan positif (Ω)

Z_2 = Impedansi urutan negatif (Ω)

2. Urutan nol

$$Z_0 = \frac{\% \text{ panjang} \times \text{panjang penyulang (km)}}{100 \times Z_0 (\Omega)} \quad (8)$$

Dimana :

Z_0 = Impedansi urutan nol (Ω)

- Impedansi Ekuivalen Penyulang

Pada perhitungan ini adalah perhitungan nilai impedansi ekuivalen positif (Z_{1eq}), negatif (Z_{2eq}) dan nol (Z_{0eq}) dari titik gangguan ke sumber. Nilai tahanan pengetanahan adalah $3 \times R_n$ dan untuk pentanahan tanpa tahanan (solid) nilai tahanan pengetanahan adalah nol. Lokasi gangguan diasumsikan terjadi pada 0%, 25%, 50%, 75% dan 100%. Berikut rumus untuk menghitung impedansi ekuivalen jaringan [2] :

1. Urutan positif dan negatif ($Z_{1eq} = Z_{2eq}$)

$$Z_{1eq} = Z_{2eq} = Z_{sisi \ 20kV} + Z_{T1} + Z_{1 \ penyulang} \quad (9)$$

Dimana:

Z_{1eq} = Impedansi ekuivalen jaringan urutan positif (Ω)

Z_{2eq} = Impedansi ekuivalen jaringan urutan negatif (Ω)

$Z_{sisi \ 20 \ kV}$ = Impedansi sumber sisi 20 kV (Ω)

Z_{T1} = Impedansi trafo tenaga urutan positif dan negatif (Ω)

$Z_{1 \ penyulang}$ = Impedansi urutan positif dan negatif pada penyulang (Ω)

2. Urutan nol

$$Z_{0eq} = Z_{T0} + 3R_n + Z_{0 \ penyulang} \quad (10)$$

Dimana:

Z_{0eq} = Impedansi ekuivalen jaringan urutan nol (Ω)

Z_{T0} = Impedansi trafo tenaga urutan nol (Ω)

R_n = Tahanan tanah trafo tenaga (Ω)

$Z_{0 \ penyulang}$ = Impedansi urutan nol pada penyulang (Ω)

C. Menghitung Arus Gangguan Hubung Singkat Fasa ke Tanah

Jika terjadi gangguan satu fasa ke tanah, arus gangguannya hampir selalu lebih kecil daripada arus hubung singkat tiga fasa.

Adapun formula perhitungan arus hubung singkatnya adalah [2]:

$$I_{HS \ 1 \ fasa} = \frac{3 \times V_{ph}}{Z_{1 \ Eq} + Z_{2 \ Eq} + Z_{3 \ Eq}} \quad (11)$$

Karena $Z_{1 \ Eq} = Z_{2 \ Eq}$, maka :

$$I_{HS \ 1 \ fasa} = \frac{3 \times V_{ph}}{(2 \times Z_{1 \ Eq}) + Z_{0 \ Eq}} \quad (12)$$

Dimana :

$I_{1 \ fasa}$ = Arus gangguan hubung singkat satu fasa ke tanah (A)

V_{ph} = Tegangan fasa – fasa system 20 kV = 20.000 volt

Z_{1Eq} = Impedansi urutan positif (Ω)

Z_{0Eq} = Impedansi urutan nol (Ω)

D. Neutral Grounding Resistor (NGR)

Dalam standart SPLN 26: 1980 telah ditetapkan besar tahanan pengetanahan dan besar arus gangguan yang diizinkan untuk setiap macam tahanan pengetanahan salah satunya adalah tahanan rendah 12 ohm dan arus gangguan tanah maksimum 1000 Ampere dipakai pada jaringan

kabel tanah. Tahanan jenis ini biasanya digunakan untuk wilayah Jakarta.

E. Relay Gangguan ke Tanah (Ground Fault Relay / GFR)

Relay gangguan ke tanah (*Ground Fault Relay/GFR*) adalah alat yang berfungsi untuk mengamankan system dari arus lebih yang diakibatkan adanya gangguan satu fasa ke tanah. Bila rele GFR mendeteksi adanya hubung singkat ke tanah. Arus setting untuk relay GFR untuk sisi primer maupun sisi sekunder trafo tenaga pada sisi *outgoing* dan *incoming* adalah sebagai berikut [2]:

- Arus setting primer GFR pada sisi *outgoing* atau penyulang 20 kV

$$I_{set (primer)} = 10\% \times I_{hs \ 1 \ fasa} \quad (13)$$

- Arus setting primer GFR pada sisi *incoming*

$$I_{set (primer)} = 8\% \times I_{hs \ 1 \ fasa} \quad (14)$$

Nilai tersebut adalah nilai primer, untuk mendapatkan nilai setelan sekunder yang dapat disetkan pada relay GFR [2]:

$$I_{set (sekunder)} = I_{set (primer)} \times \frac{1}{rasio \ CT} \quad (15)$$

Hasil perhitungan arus gangguan hubung singkat, selanjutnya digunakan untuk menentukan nilai setelan waktu (TMS). Untuk menentukan nilai TMS yang akan disetkan pada relay GFR sisi *incoming* 20 kV dan sisi 150 kV transformator tenaga diambil arus hubung singkat 1 fasa ke tanah yaitu sebagai berikut [2]:

$$TMS = \frac{0.3 \left[\left(\frac{I_{hs}}{I_{set \ primer}} \right)^{0.02} - 1 \right]}{0.14} \quad (16)$$

Sehingga, untuk menentukan waktu kerja relay adalah:

$$t = \frac{0.14 \ tms}{\left(\frac{I_{fault}}{I_{set}} \right)^{0.02} - 1} \quad (17)$$

III. HASIL DAN DISKUSI

A. Impedansi Sumber

Perhitungan kapasitas daya hubung singkat berdasarkan persamaan 2.1.

$$\begin{aligned} MVA_{hs} &= I_{hs} 3\phi \max x (V_{primer \ trafo} x \sqrt{3}) \\ &= 22.59 \ kA x (150 \ kV x \sqrt{3}) \\ &= 5869.0541 \ MVA \end{aligned}$$

Kemudian dilakukan perhitungan impedansi sumber pada sisi 150 kV dengan menggunakan persamaan 2.2, dimana :

$$Z_{(sisi \ 150 \ kV)} = \frac{kV^2}{MVA_{hs}}$$

$$\begin{aligned} &= \frac{(150 \ kV)^2}{5869.0541 \ MVA} \\ &= 3.8336 \ \Omega \end{aligned}$$

Sehingga didapat nilai impedansi sumber pada sisi 20 kV berdasarkan persamaan 3.

$$\begin{aligned} Z_{(sisi \ 20 \ kV)} &= \frac{kV_{(sisi \ sekunder \ trafo)}^2}{kV_{(sisi \ primer \ trafo)}^2} \times Z_{(sisi \ 150 \ kV)} \\ &= \frac{(20 \ kV)^2}{(150 \ kV)^2} \times 3.8336 \ \Omega \\ &= 0.06815 \ \Omega \end{aligned}$$

- *Impedansi Transformator*

Untuk memperoleh impedansi transformator dengan menggunakan persamaan 2.4.

$$\begin{aligned} Z_T &= \frac{kV^2 \text{ sisi sekunder}}{MVA_{trafo}} \\ &= \frac{(20 \ kV)^2}{60 \ MVA} \\ &= 6.67 \ \Omega \end{aligned}$$

Kemudian menghitung nilai reaktansi trafo urutan positif, negatif dan urutan nol dengan berdasarkan persamaan 5 dan 6. Diketahui nilai reaktansi trafo 1 adalah sebesar 12.125% , maka:

➤ *Reaktansi Trafo Urutan Positif*

$$\begin{aligned} X_{T1} &= j(\% \text{ yang diketahui} \times Z_t \text{ (pada 100\%)}) \\ &= j(12.125\% \times 6.67 \ \Omega) \\ &= j0.8087 \ \Omega \end{aligned}$$

➤ *Reaktansi Trafo Urutan Nol*

$$\begin{aligned} X_{T0} &= j(3 \times X_{T1}) \\ &= j(3 \times 0.8087 \ \Omega) \\ &= j2.4261 \ \Omega \end{aligned}$$

- *Impedansi Penyulang*

Dari data yang diperoleh bahwa jenis penghantar yang digunakan pada GIS Jatiwaringin yaitu OHL-150kV-ACCC DUBLIN 2X520 mm² dengan panjang penyulang 5.396 km. Sehingga didapat nilai impedansi penyulang urutan positif dan urutan negatif berdasarkan persamaan 7 dan 8.

$$\begin{aligned} Z_1 = Z_2 &= l \times (R_1 + jX_1) \\ &= 5.396 \ km \times (0.03037 + j0.64236) \ \Omega/km \\ &= 0.1638 + j3.466 \ \Omega \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Z_0 &= l \times (R_0 + jX_0) \\ &= 5.396 \ km \times (0.18037 + j1.92708) \ \Omega/km \\ &= 0.9732 + j10.398 \ \Omega \end{aligned}$$

Maka, perhitungan impedansi penyulang sebagai berikut:

1. *Urutan Positif dan Negatif (Z₁ = Z₂)*

Berdasarkan persamaan diperoleh panjang penyulang pada lokasi gangguan 25%

Studi Sistem Pentanahan Pada Transformator Daya 60 MV A di GIS 150 KV
(Kathelya Nindya Ulina, Samsurizal, dkk: 24 - 32)

$Z_1 = Z_2 = \text{\%panjang} \times \text{panjang penyulang (km)} \times Z_1/Z_2 (\Omega)$
 $= 25\% \times 5.396 \text{ km} \times (0.03037 + j0.64236) \Omega/\text{km}$
 $= 0.04095 + j0.8665 \Omega$
 Hasil impedansi penyulang urutan positif dan negatif dapat ditunjukkan pada tabel 1.

TABEL 1. PERHITUNGAN IMPEDANSI PENYULANG URUTAN POSITIF-NEGATIF

Panjang Penyulang (%)	Impedansi Penyulang Urutan Positif dan Negatif ($Z_1 = Z_2$) (dalam Ω)
0	0
25	0.04095+j0.8665
50	0.0819 + j1.733
75	0.12285 + j2.5995
100	0.1638 + j3.466

2. Urutan Nol (Z_0)

Berdasarkan persamaan 8 diperoleh :
 Panjang penyulang pada lokasi gangguan 25%

$$Z_0 = l \times (R_0 + jX_0)$$

$$= 25\% \times 5.396 \text{ km} \times (0,18037 + j1,92708) \Omega/\text{km}$$

$$= 0.2433 + j2,5995 \Omega$$

Hasil impedansi penyulang nol dapat ditunjukkan pada tabel 3.2.

TABEL 2. PERHITUNGAN IMPEDANSI PENYULANG URUTAN NOL

Panjang Penyulang (%)	Impedansi Penyulang Urutan Nol (Z_0) (dalam Ω)
0	0
25	0.2433 + j2,5995
50	0,4866 + j5.199
75	0.7299 + j7.7985
100	0.9732 + j10.398

• Impedansi Ekvivalen Jaringan

Perhitungan Z_{1eq} dan Z_{2eq} :

$$Z_{1eq} = Z_{2eq} = Z_{\text{sisi 20kV}} + Z_{T1} + Z_1 \text{ penyulang}$$

$$= j0.06815 + j0.8087 + Z_1 \text{ penyulang}$$

$$= j0.87685 + Z_1 \text{ penyulang}$$

Panjang penyulang pada lokasi gangguan 25%

$$Z_{1eq} = Z_{2eq} = j0.87685 + Z_1 \text{ penyulang}$$

$$= j0.87685 + (0.04095+j0.8665)$$

$$= 0.04095 + j1.74335$$

Berdasarkan persamaan 9, hasil impedansi penyulang nol dapat ditunjukkan pada tabel 3.3.

TABEL 1 PERHITUNGAN IMPEDANSI EKIVALEN $Z_{1eq} = Z_{2eq}$

Panjang Penyulang (%)	Impedansi Ekvivalen $Z_{1eq} = Z_{2eq}$ (dalam Ω)
0	0 + j0.87685
25	0.04095 + j1.74335
50	0.0819 + j2.60985
75	0.12285 + j3.47635
100	0.1638 + j4.34285

Perhitungan Z_{0eq} :

untuk $R = 12\Omega$

$$Z_{0eq} = Z_{T0} + 3R_n + Z_0 \text{ penyulang}$$

$$= j2,4261 + 3(12) + Z_0 \text{ penyulang}$$

$$= j2,4261 + 36 + Z_0 \text{ penyulang}$$

Tanpa melewati R (solid/langsung)

$$Z_{0eq} = Z_{T0} + 3R_n + Z_0 \text{ penyulang}$$

$$= j2,4261 + 0 + Z_0 \text{ penyulang}$$

$$= j2,4261 + Z_0 \text{ penyulang}$$

Maka perhitungan Z_{0eq} sesuai dengan beberapa lokasi gangguan yaitu sebagai berikut:

1. Impedansi Z_{0eq} untuk $R = 12 \Omega$

Berdasarkan persamaan 2.10 dengan menggunakan nilai $R = 12\Omega$,
 Panjang penyulang pada lokasi gangguan 25%

$$Z_{0eq} = j2,4261 + 36 + Z_0 \text{ penyulang}$$

$$= j2,4261 + 36 + (0.2433 + j2,5995)$$

$$= 36.2433 + j5.0256$$

Hasil impedansi penyulang nol dapat ditunjukkan pada tabel 4.

TABEL 2 PERHITUNGAN IMPEDANSI EKIVALEN Z_{0eq} UNTUK R

Panjang Penyulang (%)	Impedansi Ekvivalen Z_{0eq} untuk $R=12 \Omega$ (dalam Ω)
0	36 + j2.4261
25	36.2433 + j5.0256
50	36.4866 + j7.625
75	36.7299 + j10.2246
100	36.9732 + j12.8241

2. Impedansi Z_{0eq} tanpa melewati R

Berdasarkan persamaan 10 tanpa menggunakan nilai R

Panjang penyulang pada lokasi gangguan 25%

$$Z_{0eq} = j2,4261 + Z_0 \text{ penyulang}$$

$$= j2,4261 + (0.2433 + j2,5995)$$

$$= 0.2433 + j5.0256$$

Hasil impedansi penyulang nol dapat ditunjukkan pada tabel 3.5.

TABEL 3 PERHITUNGAN IMPEDANSI Z_{0EQ} TANPA MELEWATI R

Panjang Penyulang (%)	Impedansi Ekuivalen Z _{0eq} tanpa melewati (dalam Ω)
0	0 + j2.4261
25	0.2433 + j5.0256
50	0.4866 + j7.625
75	0.7299 + j10.2246
100	0.9732 + j12.8241

• Arus Hubung Singkat Satu Fasa Ke Tanah

Perhitungan arus gangguan hubung singkat berdasarkan panjang lokasi terjadinya gangguan yaitu ada 0%, 25%, 50%, 75% dan 100% dari panjang penyulang. Maka berdasarkan persamaan 2.11 diperoleh :

$$I_{HS\ 1\ fasa} = \frac{3 \times V_{ph}}{(2 \times Z_{1Eq}) + Z_{0Eq}}$$

$$I_{HS\ 1\ fasa} = \frac{3 \times \frac{20kV}{\sqrt{3}}}{(2 \times Z_{1Eq}) + Z_{0Eq}}$$

$$I_{HS\ 1\ fasa} = \frac{34641.0161}{(2 \times Z_{1Eq}) + Z_{0Eq}}$$

1. Arus hubung singkat satu fasa ke tanah (I_{HS 1 fasa}) untuk R = 12 Ω

Berdasarkan persamaan 11 dengan menggunakan nilai R = 12Ω
Panjang penyulang pada lokasi gangguan 25%

$$I_{HS\ 1\ fasa} = \frac{34641.0161}{(2 \times Z_{1Eq}) + Z_{0Eq}}$$

$$= \frac{34641.0161}{(2 \times (0.04095 + j1.74335)) + (0.2433 + j5.0256)}$$

$$= 928.48\ A$$

Hasil perhitungan arus hubung singkat satu fasa ke tanah dapat ditunjukkan pada tabel 6.

TABEL 4 PERHITUNGAN ARUS HUBUNG SINGKAT SATU FASA KE TANAH (I_{HS 1 FASA}) UNTUK R = 12Ω

Panjang Penyulang (%)	Arus hubung singkat satu fasa ke tanah (I _{HS 1 fasa}) untuk R = 12 Ω (dalam A)
0	955.82
25	928.48
50	891.98
75	849.65
100	804.51

Berdasarkan data spesifikasi *Neutral Grounding Resistor* (NGR) yang memiliki kuat hantar arus 1000 A dan dapat dilihat pada tabel 3.6 bahwa nilai arus gangguan hubung satu fasa ke tanah yang tertinggi adalah dengan nilai 955.82 A pada panjang penyulang dengan lokasi gangguan 0%. Sehingga dapat dilihat dari hasil perhitungan dan data spesifikasi NGR bahwa kuat hantar arus pada NGR mampu menahan arus gangguan hubung singkat satu fasa ke tanah.

2. Arus hubung singkat satu fasa ke tanah (I_{HS 1 fasa}) tanpa melewati R

Berdasarkan persamaan 11 tanpa menggunakan nilai R
Panjang penyulang pada lokasi gangguan 25%

$$I_{HS\ 1\ fasa} = \frac{34641.0161}{(2 \times Z_{1Eq}) + Z_{0Eq}}$$

$$= \frac{34641.0161}{(2 \times (0.04095 + j1.74335)) + (0.2433 + j5.0256)}$$

$$= 4066.55\ A$$

Hasil perhitungan arus hubung singkat satu fasa ke tanah dapat ditunjukkan pada tabel 7.

TABEL 5 PERHITUNGAN ARUS HUBUNG SINGKAT SATU FASA KE TANAH (I_{HS 1 FASA}) TANPA MELEWATI R

Panjang Penyulang (%)	Arus hubung singkat satu fasa ke tanah (I _{HS 1 fasa}) tanpa melewati R (dalam A)
0	8287.72
25	4066.55
50	2693,43
75	2013.42
100	1607,53

Berdasarkan tabel 7, dapat dilihat apabila tidak melewati tahanan (R) maka nilai arus gangguan hubung singkat satu fasa ke tanah cukup besar. Oleh sebab itu, apabila dibandingkan antara tabel 3.6 dengan tabel 3.7 dapat disimpulkan bahwa *Neutral Grounding Resistor* (NGR) berfungsi untuk membatasi arus gangguan hubung singkat.

B. Perhitungan Setting Ground Fault Relay (GFR)

• Arus Setting GFR

Setting *ground fault relay* (GFR) pada sisi primer dan sisi sekunder transformator tenaga terlebih dahulu harus dihitung arus nominal transformator tenaga. Arus setting untuk relay

GFR pada sisi primer di sisi *outgoing* dan sisi *incoming* berdasarkan persamaan 13 dan persamaan 14 adalah sebagai berikut:

- Perhitungan arus setting primer pada sisi *outgoing*

$$\begin{aligned} I_{set} (primer) &= 10\% \times I_{HS} 1 \emptyset(100\%) \\ &= 10\% \times 804.51 A \\ &= 80.451 A \end{aligned}$$

- Perhitungan arus setting primer pada sisi *incoming*

$$\begin{aligned} I_{set} (primer) &= 8\% \times I_{HS} 1 \emptyset(100\%) \\ &= 8\% \times 804.51 A \\ &= 64.3608 A \end{aligned}$$

Perhitungan arus setting pada sisi sekunder sisi *outgoing* dan sisi *incoming* dengan menggunakan persamaan 15.

- Perhitungan arus setting sekunder pada sisi *outgoing*

$$\begin{aligned} I_{set} (sekunder) &= I_{set} (primer) \times \frac{1}{rasio CT} \\ &= 80.451 A \times \frac{1}{\frac{2000}{5}} \\ &= 0.201 A \end{aligned}$$

- Perhitungan arus setting primer pada sisi *incoming*

$$\begin{aligned} I_{set} (sekunder) &= I_{set} (primer) \times \frac{1}{rasio CT} \\ &= 64.360 A \times \frac{1}{\frac{2000}{5}} \\ &= 0.1609 A \end{aligned}$$

- Waktu Setting GFR

Berikut perhitungan TMS pada sisi *outgoing* dan sisi *incoming* dengan menggunakan persamaan 16.

- Perhitungan TMS pada sisi *outgoing*

$$\begin{aligned} TMS &= \frac{0.3 \left[\left(\frac{I_{hs}}{I_{set primer}} \right)^{0.02} - 1 \right]}{0.14} \\ &= \frac{0.3 \left[\left(\frac{955.82 A}{80.451 A} \right)^{0.02} - 1 \right]}{0.14} \\ &= 0.10873 = 0.11 \end{aligned}$$

- Perhitungan TMS pada sisi *incoming*

$$TMS = \frac{0.7 \left[\left(\frac{I_{hs}}{I_{set primer}} \right)^{0.02} - 1 \right]}{0.14}$$

$$\begin{aligned} &= \frac{0.7 \left[\left(\frac{955.82 A}{64.360 A} \right)^{0.02} - 1 \right]}{0.14} \\ &= 0.27 \end{aligned}$$

Setelah mendapatkan nilai TMS, kemudian menghitung nilai waktu kerja rele berdasarkan lokasi gangguan 0%, 25%, 50%, 75% dan 100%.

- a. Perhitungan waktu kerja rele pada sisi *outgoing*

Berdasarkan persamaan 17 dan diperoleh hasil nilai waktu kerja rele pada sisi *outgoing* ditunjukkan pada tabel 8

Panjang penyulang dengan lokasi gangguan 25%

$$\begin{aligned} t &= \frac{0,14 tms}{\left(\frac{I_{fault}}{I_{set}} \right)^{0,02} - 1} \\ &= \frac{0,14 \times 0,11}{\left(\frac{928.48}{80.451} \right)^{0,02} - 1} \\ &= 0.307 s \end{aligned}$$

TABEL 6 PERHITUNGAN NILAI WAKTU KERJA RELAY PADA SISI *OUTGOING*

Panjang Penyulang (%)	Waktu kerja trip relay (s)
0	0.303
25	0.307
50	0.312
75	0.319
100	0.326

- b. Perhitungan waktu kerja rele pada sisi *incoming*

Berdasarkan persamaan 17 dan diperoleh hasil nilai waktu kerja trip rele pada sisi *incoming* ditunjukkan pada tabel 9.

Panjang penyulang dengan lokasi gangguan 25%

$$\begin{aligned} t &= \frac{0,14 tms}{\left(\frac{I_{fault}}{I_{set}} \right)^{0,02} - 1} \\ &= \frac{0,14 \times 0,27}{\left(\frac{928.48}{64.360} \right)^{0,02} - 1} \\ &= 0.689 s \end{aligned}$$

TABEL 7 PERHITUNGAN NILAI WAKTU KERJA TRIP RELAY PADA SISI *INCOMING*

Panjang Penyulang (%)	waktu kerja trip relay (s)
0	0.681
25	0.689
50	0.700
75	0.713
100	0.729

IV. KESIMPULAN

A. Kesimpulan

Dari pengolahan data diatas, maka dapat disimpulkan yaitu:

1. Sistem pentanahan pada transformator daya yang digunakan GIS Jatiwaringin adalah dengan menggunakan NGR (*Neutral Grounding Resistor*) yang dipasang pada sisi 20 kV, sedangkan pada sisi 150 kV menggunakan pentanahan langsung (*solid grounding*).
2. Nilai arus hubung singkat satu fasa ke tanah dengan menggunakan $R = 12 \Omega$, pada lokasi gangguan 25% sebesar 928.48Ω . Sedangkan, nilai arus hubung singkat satu fasa ke tanah tanpa melewati R pada lokasi gangguan 25% sebesar 4066.55Ω . Sehingga, pengaruh NGR terhadap arus gangguan hubung singkat satu fasa ke tanah ialah membatasi arus gangguan hubung singkat satu fasa ke tanah agar tidak mengalir ke titik netral transformator.
3. Nilai TMS pada GFR pada sisi *outgoing* berdasarkan perhitungan sebesar 0.11 dan berdasarkan rele yang terpasang sebesar 0.12. Sedangkan, nilai TMS pada GFR pada sisi *incoming* berdasarkan perhitungan sebesar 0.27 dan berdasarkan rele yang terpasang sebesar 0.15. Kemudian, pada lokasi gangguan 25% sebesar 0.382 s. Selisih waktu kerja relay pada sisi *outgoing* dengan sisi *incoming* masih sesuai dengan standar yaitu maksimal selisih sebesar 0.4 detik.

B. Saran

Untuk melengkapi penelitian ini, sebaiknya penelitian selanjutnya dibahas juga tentang rele *Restricted Earth Fault* (REF) dan rele *Stand By Earth Fault* (SBEF) dimana itu merupakan proteksi guna melindungi transformator daya dan NGR terhadap arus gangguan hubung singkat satu fasa ke tanah.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terimakasih penulis ucapkan pada Program Studi Teknik Elektro Institut Teknologi PLN yang

sudah memberikan ruang dan kesempatan bagi penulis untuk menyelesaikan tulisan ini.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] A. Khurniawan, Sistem Pentanahan Switchyard Transformator 20KV/150KV Di PLTU Tanjung Awar-Awar, Jakarta: Sekolah Tinggi Teknik-PLN, 2015.
- [2] M. Ir.Wahyudi Sarimun N., Proteksi Sistem Distribusi Tenaga Listrik, Depok: Garamond, 2016.
- [3] I. G. D. A. I. W. R. I Gusti Agung Putra Sanjaya, "Analisis Setting Pengaman Transformator Daya Di Gardu Induk Nusa Dua Jika Terjadi Gangguan Hubung Singkat Satu Fasa Tanah," *E-Journal Spektrum Vol.4*, pp. 28-31, 2017.
- [4] A. U. Hutapea, Kajian Perancangan Sistem Pembumian Untuk Memenuhi Tegangan Sentuh dan Tegangan Langkah Di GISTET 500 KV Duri Kosambi, Jakarta: Sekolah Tinggi Teknik-PLN, 2019.
- [5] P. R. Ariawan, Transformator, Jimbaran-Bali: Fakultas Teknik Universitas Udayana, 2010.
- [6] N. Pamudji, Pedoman Trafo Tenaga, Jakarta: PT.PLN (Persero), 2014.
- [7] R. T. Samalo, Analisis Sistem Pentanahan Pada Transformator Daya 60 MVA di GI Duri Kosambi, Jakarta: Sekolah Tinggi Teknik-PLN, 2017.
- [8] A. S. Dewangga, Studi Koordinasi Proteksi Rele Arus Lebih, Diferensial dan Ground Fault Pada PT. Linde Indonesia, Cilegon, Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember, 2015.
- [9] T. S. T. O. Moh.Madani, "Analisa Setting Over Current Relay (OCR) dan Ground Fault Relay (GFR) Pada Trafo 60 MVA di GIS 150 KV Simpang," *Seminar Nasional Sains dan Teknologi Terapan VII 2019*, pp. 685-686, 2019.
- [10] A. Z. A. Rahman, Tinjauan Tekno Ekonomi Perhitungan Arus Gangguan Hubung Singkat Ke Tanah Berkaitan Dengan Nilai Neutral Grounding Resistor Untuk Penyetelan Ground Fault Relay, Jakarta: Sekolah Tinggi Teknik-PLN, 2018.
- [11] S. A. B. Dedi Mirza, "Analisa Pengaruh Neutral Ground Resistant (NGR) 40 Ohm Pada Transformator Daya 30 MVA Di Gardu Induk Bireuen Terhadap Arus

Gangguan Satu Fasa Ke Tanah,” *Jurnal Energi Elektrik* Volume 7, 2018.

- [12] I. A. A. I Kadek Arya Surya, “Studi Pengaruh Pemasangan NGR 40 Ohm Pada Uprating Transformator 2 GI Gianyar Terhadap Gangguan Hubung Singkat 1 Phasa Tanah,” *Teknologi Elektro*, 2017.
- [13] M. D. Kuncahyo, Analisis Setting Ground Fault Relay (GFR) Terhadap Sistem Pentanahan Netral Transformator Menggunakan Metode Neutral Grounding Resistor (NGR) pada Penyulang PLN Rayon Kuala Pembuang Kalimantan Tengah, Malang: Institut Teknologi Nasional Malang, 2017.
- [14] PT.PLN (Persero), Pedoman Supervisi Kontruksi Jaringan, Transmisi dan Gardu Induk, Jakarta: PT.PLN (Persero).
- [15] PT. PLN. (Persero), Proteksi dan Kontrol Transformator, Jakarta: PT.PLN (Persero).
- [16] Samsurizal, Dedi.K, “Penyetingan Loss Of Field Relay Proteksi Generator Pada Pembangkit Listrik Tenaga Air,” *Setrum*, 2019.