

EVALUASI SISTEM PENTANAHAN TRANSFORMATOR DAYA 60 MVA PLTGU INDRALAYA

Oleh :

Manogu Simangunsong^[1], Yuslan Basir^[2], Helmi^[3], Hazairin Samaulah^[4]

Abstrak :Transformator daya pada pembangkit listrik dilengkapi beberapa proteksi yang dapat mengamankan transformator tersebut dari kerusakan akibat gangguan baik gangguan internal maupun gangguan eksternal, diantaranya system pentanahan netral transformator. Transformator daya 60 MVA ini memiliki kemampuan arus hubung singkat pada sisi HV (150 kV) sebesar 2300 Amper dan tegangan fasa netral maksimum sebesar 140 kV. Dari hasil perhitungan gangguan arus hubung singkat tiga fasa sebesar 5379,480 Amper dengan tegangan lebih fasa netral sebesar 151,163 kV. Hasil pengukuran nilai tahanan elektroda pentanahan sistem netral setelah terjadi kerusakan sebesar 28,1 Ohm, nilai yang diizinkan sebesar <1 Ohm, hal ini diakibatkan elektroda batang system pentanahan yang mengalami cacat/ kerusakan pada bahan elektroda.

Kata Kunci : Transformator, arus hubung singkat, pentanahan netral dan bahan elektroda

Abstract :Power transformer at a power plant equipped with several protection that can secure the transformer from damage due to interference either internal or external disturbances disorders, including transformer neutral grounding system. The power transformer 60 MVA has the ability to short circuit current on HV side (150 kV) of 2300 amperes and a maximum neutral phase voltage of 140 kV. From the calculation of short circuit current interruption for three-phase voltage 5379.480 Amper with more neutral phase of 151.163 kV. Measurement result value system neutral earth electrode resistance after the damage occurred at 28.1 Ohm, allowed values of <1 Ohm, this is due to the electrode shaft grounding system which is defective/damage the electrode materials.

Keyword :Transformer, shortcircuit current, neutral earth and electrode materials

1. Latar Belakang

Dalam penyaluran energi listrik dari PLTGU Indralaya melalui Busbar/rel (switchyard) kesistem transmisi Interkoneksi Sumatera GI simpang tiga yang berkesinambungan, sering terjadi bermacam gangguan system tenaga listrik, gangguan yang timbul berupa gangguan secara *internal* maupun secara *eksternal* yang dapat

mengakibatkan terhentinya penyaluran energy listrik. Pada gangguan eksternal yang diakibatkan surja petir salah satu penyebab gangguan hubung singkat, dimana saluran udara yang keluar dari pusat listrik merupakan bagian instalasi pusat listrik yang paling rawan sambaran petir, dikarenakan surja petir yang merupakan gelombang berjalan akan menuju ke transformator daya pembangkit dengan melihat transformator sebagai suatu ujung

¹⁾ Alumni Program Studi Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Tridinanti Palembang

^{2),3),4)} Dosen Program Studi Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Tridinanti Palembang

terbuka (karena transformator mempunyai isolasi terhadap bumi/tanah) sehingga gelombang pantulannya akan saling memperkuat dengan gelombang yang datang, maka pada transformator daya pembangkit diberikan system pentanahan netral agar terhindar dari kerusakan.

Daerah geografis pembangkit listrik tenaga gas dan uap (PLTGU) Indralaya sangat sering mengalami guruh dan kilat petir dengan iklim cuaca yang ekstrim, sambaran kilat dan hujan deras didaerah serandang (switchyard) sering dijumpai. Sejak PLTGU Indralaya beroperasi dari tahun 2008 hingga tahun 2011 telah terjadi tiga (3) kali gangguan yang mengakibatkan kerusakan transformator daya PLTGU Indralaya.

Kerusakan transformator diantaranya diakibatkan oleh tidak sensitifnya proteksi yang terpasang, sistem proteksi yang tidak terkordinasi satu sama lain secara baik dan benar serta kemungkinan adanya penurunan ketahanan isolasi transformator tersebut oleh karena umur pemakaian transformator sendiri.

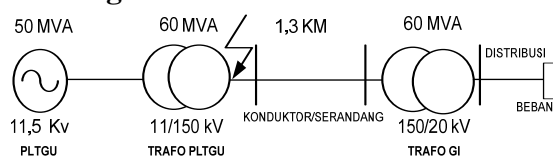
2. Tujuan

Tujuan dari pembahasan ini sebagai berikut:

- 2.1 Menghitung dan menganalisa besar arus hubung singkat dan tegangan lebih terhadap pentanahan system netral transformator daya 60MVA PLTGU Indralaya.
- 2.2 Menghitung nilai tahanan elektroda system pentanahan netral transformator daya PLTGU Indralaya yang terinstalasi.

3. Metode Perhitungan Arus Hubung Singkat

3.1 Diagram Satu Garis



Gangguan hubung singkat dapat didefinisikan sebagai gangguan yang terjadi akibat adanya penurunan kekuatan dasar isolasi antara sesama kawat fasa atau antar kawat fasa dengan tanah yang menyebabkan kenaikan arus sangat berlebihan.

Dalam sistem tenaga listrik tiga fasa, gangguan hubung singkat yang terjadi sebagai berikut :

- Gangguan hubung singkat satu fasa ketanah.
- Gangguan hubung singkat dua fasa ke tanah.
- Gangguan hubung singkat tiga fasa.

3.1.1 Menghitung Impedansi Generator

Impedansi sumber pada transformator dapat ditinjau dari sisi tegangan tinggi atau sisi tegangan rendahnya. Apabila impedansi sumber ditinjau dari sisi tegangan tinggi maka ratingnya juga dipilih pada sisi tegangan tinggi dan apabila ditinjau dari sisi tegangan rendah maka ratingnya juga dipilih pada sisi tegangan rendah.

Pada perhitungan impedansi generator yang diambil adalah harga reaktansinya, sedangkan tahananannya diabaikan karena sangat kecil nilainya. Untuk perhitungan ini dipergunakan persamaan berikut :

$$Z_g \text{ (PU)} = X \text{ (\%)} \frac{kVA_{base}}{kV_{base}^2} \dots\dots(3.1)$$

Dimana :

$Z_g \text{ (PU)}$ = Impedansi generator dalam perunit (PU)

$X \text{ (\%)}$ = Reaktansi generator dalam persen (̸)

kVA_{base} = Daya dasar generator (kVA)

kV_{base} = Tegangan dasar (kV)

3.1.2 Menghitung Impedansi Saluran

Besarnya impedansi saluran dapat dilihat dengan menggunakan persamaan berikut :

$$Z_{saluran} \text{ (PU)} = \frac{Z_{saluran} \text{ (̸)}}{Z_{base} \text{ (̸)}} \dots\dots(3.3)$$

$$Z_{\text{saluran}} (\dot{U}) = (R + jX) \times \text{Panjang saluran} \dots (3.4)$$

$$Z_{\text{base}} = \dots (3.5)$$

Dimana :

Z_{base} = Impedansi dasar saluran (\dot{U})

R = Tahanan saluran (\dot{U})

X = Reaktansi saluran (\dot{U})

kV_{base} = Tegangan dasar saluran (kV)

MVA_{base} = Daya dasar saluran (MVA)

3.1.3 Menghitung Tegangan dalam Per-Unit

Besarnya tegangan dalam per-unit dapat dilihat dengan menggunakan persamaan berikut:

$$V_f (\text{PU}) = \dots (3.6)$$

Dimana :

kV_{sistem} = Tegangan rating transformator tenaga (PU)

kV_{base} = Tegangan dasar transformator tenaga (PU)

V_f = Tegangan dalam per-unit (PU)

3.1.4 Menghitung Besar Arus Dasar

Besarnya arus dasar dalam per-unit dapat dilihat dengan menggunakan persamaan berikut:

$$I_{\text{base}} = \dots (3.7)$$

Dimana :

kVA_{base} = Daya dasar transformator tenaga (kVA)

kV_{base} = Tegangan dasar transformator tenaga (kV)

3.2 Gangguan Hubung Singkat Satu Fasa ke Tanah

Untuk gangguan hubung singkat satu fasa ke tanah pada system tenaga persamaannya sama dengan persamaan hubung singkat satu fasa ke tanah pada generator, kecuali terminal

generator E_a diganti dengan V_f sehingga persamaan menjadi :

$$I_f 1\Phi \text{ ketanah} = \dots \times I_{\text{base}}$$

3.3 Gangguan Hubung Singkat Dua Fasa ke Tanah

Besarnya arus hubung singkat ini ditentukan oleh komponen urutan positif, negative dan nol dimana urutan nol adalah akibat dari gangguan dua fasa ketanah.

$$I_f 2\Phi \text{ ketanah} = \dots \times I_{\text{base}}$$

3.4 Gangguan Hubung Singkat Tiga Fasa

Gangguan hubung singkat tiga fasa pada sistem akan menyebabkan arus yang sangat besar, arus tersebut jauh melebihi besarnya arus nominal dan arus gangguan hubung singkat. Hanya pada kejadian ini tegangan dan arus system tetap simetris sehingga analisa dapat diselesaikan dengan menggambarkan system sebagai rangkaian satu fasa.

$$I_f 3\Phi = \dots \times I_{\text{base}}$$

3.5 Pengukuran Nilai Tahanan Pentanahan Transformator.

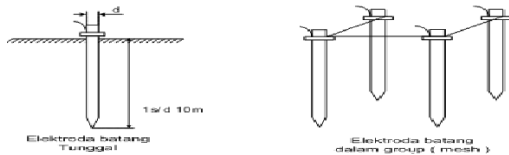
Sistem pentanahan transformator 60 MVA 11/150 kV PLTGU Indralaya menggunakan sistem pentanahan netral langsung (Solid Netral Grounding) dengan pentanahan elektroda batang (Rod). Pemasangan pentanahan dengan elektroda batang (Rod) ini dengan cara ditanam tegak lurus ke dalam tanah dengan kedalaman 1 sampai 10 meter. Jumlah elektroda yang di tanam sangat dipengaruhi oleh kondisi permukaan tanah dan tahanan jenis tanah, pada lokasi transformator PLTGU Indralaya menggunakan satu batang elektroda dengan kondisi tanah liat.

Untuk mendapatkan tahanan pembumian yang kecil, diperlukan elektroda pentanahan. Prinsip dasar untuk memperoleh tahanan yang kecil adalah dengan membuat permukaan elektroda bersentuhan dengan tanah sebesar mungkin, sesuai dengan rumus :

$$R = \frac{\rho L}{a}$$

Dimana :

- R = Tahanan Pentanahan ()
- \tilde{n} = Tahanan Jenis Tanah (Ωm)
- L = Panjang lintasan arus pada tanah (m)
- a = Luas penampang lintasan arus pada tanah (m^2)



Gambar Bentuk-bentuk Elektroda Batang

Elektroda yang di gunakan adalah elektroda bentuk pipa atau batang profil yang ditanamkan tegak lurus kedalam tanah dengan kedalaman antara 1 sampai 10 meter.

Dengan satu batang elektroda ditanam tegak lurus dibawah permukaan tanah beberapa Cm :

$$R_{br} = \frac{\rho}{2\pi L} \left(\ln \frac{2L}{a} - 1 \right)$$

4. Perhitungan dan Analisa

4.1 Impedansi Total Urutan Jala-jala

Untuk menghitung harga impedansi generator, transformator, dan saluran digunakan persamaan dalam perunit yaitu :

$$Z(\text{PU}) = X(\%)$$

4.1.1 Perhitungan Impedansi pada Generator

$$Z_g(\text{PU}) = X(\%)$$

$$\begin{aligned} &= J12,2 \\ &= J12,2 (1,2) (0,914) \\ &= J13,380 \text{ PU} \end{aligned}$$

4.1.2 Perhitungan Impedansi pada Transformator Daya Pembangkit

$$\begin{aligned} Z_{t1}(\text{PU}) &= X(\%) \\ &= J10,3 \\ &= J10,3 (0,833) (1,092) \\ &= J9,369 \text{ PU} \end{aligned}$$

4.1.3 Perhitungan Impedansi pada Transformator Daya Gardu Induk

$$\begin{aligned} Z_{t2}(\text{PU}) &= X(\%) \\ &= J12,3 \\ &= J12,3 \text{ PU} \end{aligned}$$

4.1.4 Perhitungan Impedansi pada Saluran

$$\begin{aligned} Z_{\text{saluran}}(\text{PU}) &= \\ Z_{\text{base}} &= \\ &= 375 \Omega \\ X_{\text{kabel}} &= 0,004782 \times 1,3 \text{ Km} \\ &= J0,006216 \Omega/\text{Km} \\ R_{\text{kabel}} &= 0,002788 \times 1,3 \text{ Km} \\ &= J0,003624 \Omega/\text{Km} \\ Z_{\text{saluran}}(\Omega) &= (R + jX) \\ &= 0,003624 + j0,006216 \Omega \\ Z_{\text{saluran}}(\text{PU}) &= \\ &= \\ &= 0,000009664 + j0,00001657 \text{ PU} \end{aligned}$$

Karena gangguan terjadi pada sisi sekunder transformator pembangkit (150kV), maka impedansi totalnya adalah sebesar :

A. Impedansi Total Urutan Positif

$$\begin{aligned}
 Z_{total} &= Z_g + Z_{t1} + Z_{saluran} \\
 &= \mathbf{J13,380 + J9,369 + (0,000009664 + J0,00001657)} \\
 &= 0,000009664 + J22,7490 \Omega \\
 X_{t2} &= J12,3 \text{ PU} \\
 Z_{total} &= \sqrt{0,000009664^2 + 22,7490^2} \\
 &= 7,983 \angle 100^\circ \text{ PU}
 \end{aligned}$$

Maka nilai impedansi urutan positif adalah 7,983 PU

B. Impedansi Total Urutan Negatif

$$\begin{aligned}
 Z_{total} &= Z_g + Z_{t1} + Z_{saluran} \\
 &= \mathbf{J13,380 + J9,369 + (0,000009664 + J0,00001657)} \\
 &= 0,000009664 + J22,7490 \Omega \\
 X_{t2} &= J12,3 \text{ PU} \\
 Z_{total} &= \sqrt{0,000009664^2 + 22,7490^2} \\
 &= 7,983 \angle 100^\circ \text{ PU}
 \end{aligned}$$

Maka nilai impedansi urutan negatif adalah 7,983 PU

C. Impedansi Total Urutan Nol

$$\begin{aligned}
 Z_{total} &= Z_g + Z_{t1} + Z_{saluran} \\
 &= J13,380 + J9,369 + (0,000009664 + J0,00001657) \\
 &= 0,000009664 + J22,7490 \Omega
 \end{aligned}$$

$$X_{t2} = J12,3 \text{ PU}$$

$$Z_{total} = \sqrt{0,000009664^2 + 22,7490^2}$$

$$\begin{aligned}
 Z_0 &= (7,981 - J0,497) .3 \\
 &= 23,936 \angle 0,560^\circ \text{ PU}
 \end{aligned}$$

Dari hasil perhitungan didapat impedansi urutan jala-jala sebesar :

NO.	IMPEDANSI URUTAN JALA-JALA	Z total (PU)
1	POSITIF Z_1	7,983
2	NEGATIP Z_2	7,983
3	NOL Z_0	23,936

4.2 Besar Arus Gangguan Hubung Singkat Pada Transformator

Perhitungan Besar Arus Hubung Singkat pada sekunder transformator (150 kV):

A. Gangguan hubung singkat satu fasa ke tanah

$$\begin{aligned}
 I_f 1\Phi \text{ ke tanah} &= \frac{V_{LL}}{\sqrt{3} Z_{total}} \times I_{base} \\
 &= \frac{150 \text{ kV}}{\sqrt{3} \times 7,983} \times 3149,27 \\
 &= 3228,739 \text{ Amper}
 \end{aligned}$$

B. Gangguan hubung singkat dua fasa ke tanah

$$\begin{aligned}
 I_f 2\Phi \text{ ke tanah} &= \frac{V_{LL}}{2 Z_{total}} \times I_{base} \\
 &= \frac{150 \text{ kV}}{2 \times 7,983} \times 3149,27 \\
 &= 2306,561 \text{ Amper}
 \end{aligned}$$

C. Gangguan hubung singkat tiga fasa


$$\begin{aligned}
 I_f 3\Phi &= \frac{V_{LL}}{Z_{total}} \times I_{base} \\
 &= 5379,480 \text{ Amper}
 \end{aligned}$$

NO	ARUS HUBUNG SINGKAT	AMPER
1	Satu Fasa ke Tanah	3228,739
2	Dua Fasa ke Tanah	2306,561
3	Tiga Fasa	5379,480

4.3 Tegangan Lebih Gangguan Pada Transformator

Dari hasil perhitungan didapat tegangan akibat gangguan sebesar :

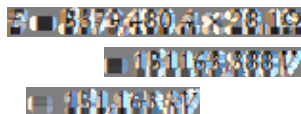
1. Untuk gangguan hubung singkat satu fasa tanah:



2. Untuk gangguan hubung singkat dua fasa tanah:



3. Untuk gangguan hubung singkat tiga fasa:



NO	TEGANGAN GANGGUAN	kV
1	SATU FASA TANAH	90,727
2	DUA FASA TANAH	64,814
3	TIGA FASA	151,163

Dari hasil perhitungan hubung singkat pada transformator daya 60 MVA PLTGU Indralaya dan hasil pengukuran nilai tahanan pentanahan system netral setelah terjadi gangguan dan kerusakan transformator sebesar 28,1 Ohm, besar gangguan arus hubung singkat satu fasa ketanah adalah 3228,739 Amper dengan tegangan lebih terhadap pentanahan netral sebesar 90,727 kV; arus hubung singkat dua fasa ke tanah sebesar 2306,561 Amper dengan tegangan lebih terhadap pentanahan netral sebesar 64,814 kV dan hubung singkat tiga fasa sebesar 5379,480 Amper dengan tegangan lebih terhadap pentanahan netral

sebesar 151,163 kV. Maka diantara hubung singkat yang telah dilakukan perhitungan, hubung singkat tiga fasa yang terjadi mengakibatkan kerusakan pada transformator dimana arus dan tegangan yang melewati transformator melebihi batas maksimum arus hubung singkat sebesar 2300 Amper dan tegangan fasa-netral sebesar 140 kV.

4.4 Tahanan Pentanahan Sistem Netral Solid.

➤ Nilai tahanan jenis tanah liat minimum
 $\rho = 20 \Omega/m = 4,014 \Omega$

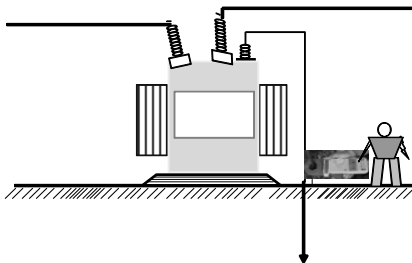
➤ Nilai tahanan jenis tanah liat maksimum
 $\rho = 100 \Omega/m = 20,071 \Omega$

Dengan menghitung nilai elektroda pentanahan system netral transformator terdapat perbedaan dengan hasil pengukuran dilapangan, dimana jenis tanah yang terdapat dilokasi adalah tanah liat dengan nilai tahanan jenis tanah diantara 20-100 Ω/m , nilai minimum tahanan pentanahan tanah liat sebesar 4,014 Ohm dan nilai maksimumnya sebesar 20,071 Ohm, sedangkan hasil pengukuran dengan menggunakan alat ukur FLUKE 1630 Digital Earth Ground Clamp sebesar 0,879 Ohm. Hal ini dikarenakan ketika dilakukan pengukuran nilai tahanan elektroda pentanahan kondisi elektroda terhubung dengan titik netral transformator dan sedang dalam kondisi beroperasi dan bertegangan, dengan demikian tahanan elektroda dan tahanan transformator terangkai paralel sehingga menghasilkan nilai hasil pengukuran yang kecil. Sebaiknya pada transformator diberikan elektroda pentanahan cadangan sehingga dapat dilakukan pengukuran dengan melepas elektroda yang akan diukur, dengan demikian hasil pengukuran akan lebih akurat dan mendekati hasil perhitungan.

5. Kesimpulan dan Saran

5.1 Kesimpulan

1. Dari hasil perhitungan gangguan hubung singkat yang mengakibatkan kerusakan pada transformator daya 60 MVA PLTGU Indralaya adalah gangguan hubung singkat tiga fasa, dimana arus yang di timbulkan gangguan ini sebesar 5379,480 Amper, melampaui arus maksimum pada name-plate transformator sisi tegangan tinggi 150 kV (HV) sebesar 2300 Amper.
2. Dengan nilai hasil pengukuran elektroda pentanahan sebesar 28,1 Ohm maka hasil perhitungan hubung singkat tiga fasa, didapat tegangan yang melalui belitan transformator sebesar 151,163 kV sedangkan tegangan fasa netral maksimum transformator sebesar 140 kV.
3. Pada perhitungan nilai tahanan elektroda system pentanahan netral transformator dengan nilai minimum tahanan jenis tanah liat 20 Ω/m sebesar 4,014 Ohm dan nilai maksimumnya 100 Ω/m sebesar 20,071 Ohm. Terdapat perbedaan dengan hasil pengukuran dengan alat ukur FLUKE 1630 Digital Earth Ground Clamp sebesar 0,879 Ohm, dikarenakan pada saat pengukuran transformator dalam keadaan beroperasi dan terhubung pada titik netral transformator.



Saran

1. Dengan arus hubung singkat serta tegangan fasa-netral yang sangat besar

akibat nilai tahanan pentanahan sistem netral diatas batas yang ditentukan, maka perlu dilakukan perbaikan dan pemeliharaan system pentanahan netral transformator yang baik dan terjadwal sesuai dengan ketentuan agar tidak terulang kembali kerusakan pada transformator daya 60 MVA PLTGU Indralaya dikemudian hari.

2. Dengan hasil perhitungan hubung singkat pada sistem yang didapat, dimana arus hubung singkat hasil perhitungan sangat jauh lebih besar dari kemampuan transformator, maka diharapkan dalam memilih dan menentukan transformator dilakukan perencanaan dan pemilihan transformator yang lebih baik dan tepat.

Daftar Pustaka

- Arif Dermawan, *Analisis Perbandingan Nilai Tahanan Pentanahan yang Ditanam di Tanah dan di Septic tank pada Perumahan*, Semarang, 1986. (diakses tanggal 16 September 2013 pukul : 19.22 Wib)
- Samaulah, Hazairin, Ir, M. Eng., Ph.D., *Dasar-Dasar Sistem Proteksi Tenaga Listrik*, Palembang, 2000.
- Samaulah, Hazairin, Ir, M. Eng., Ph.D., *Analisa Sistem Tenaga*, Palembang, 2000.
- Stevenson, William D, Jr., *Analisis Sistem Tenaga Listrik*, Bandung, 1983.
- Tohir, Toto, *Analisa Sistem Tenaga Listrik*, POLBAN-PT. PLN (Persero), Jawa Barat & Banten, 2005.
- T.S. Hutaeruk, *Pengetanahan Netral Sistem tenaga & Pengetanahan Peralatan*, Departemen Elektroteknik, ITB, Bandung, 1978.