

# Analisis Penerapan Zig Zag Transformator pada Ungrounded System

Trisna Wati

Program Studi Teknologi Elektro

Institut Teknologi Adhi Tama  
Surabaya,

Surabaya, Indonesia

trisnaw@itats.ac.id

Santi Triwijaya

Program Studi Teknologi Elektro  
Perkeretaapian

Politeknik Perkeretaapian Indonesia  
Madiun

Kota Madiun, Indonesia

santi@ppi.ac.id

Yuli Prasetyo

Program Stud Perkeretaapian

Politeknik Negeri Madiun

Madiun, Indonesia

yuliprasetyo2224@pnm.ac.id

Sandy Prakoso

Program Studi Teknologi Elektro

Institut Teknologi Adhi Tama  
Surabaya

Surabaya, Indonesia

Prakoso895@gmail.com

**Abstrak**— Salah satu permasalahan pada ungrounded system adalah tidak adanya titik netral atau titik pentanahan. Pada penelitian ini diaplikasikan transformator zig-zag sebagai transformator pentanahan (grounding transformer), karena salah satu aplikasinya adalah menyediakan titik netral. Metode yang digunakan Reverse Asbuilt transformer design method, dimana metode ini digunakan untuk desain transformator zig-zag dengan menghitung jumlah, dimensi dan jenis material yang akan digunakan. Untuk simulasi sistem distribusi menggunakan software ETAP, Simulasi hubung singkat fasa ke tanah pada ungrounded system menggunakan 2 transformator pentanahan, yaitu transformator zig-zag dan transformator standar YNd5. Nilai hubung singkat fasa ke tanah ketika menggunakan transformator zig-zag yaitu 29.99 ampere dengan suhu kumparan saat hubung singkat 150.85°C.

**Kata kunci**— *Panel surya; Energi terbarukan; metode astronomi; smart relay*.

## I. PENDAHULUAN

Transformator merupakan salah satu komponen yang sangat penting dalam dunia ketenagalistrikan. Keberadaan transformator merupakan salah satu langkah maju dan penemuan besar bagi kemajuan dunia ketenagalistrikan. Transformator adalah alat yang berfungsi sebagai penyalur daya listrik dengan tingkat tegangan yang berbeda [1]. Tegangan dapat dinaikan atau diturunkan sesuai dengan besar kecilnya arus yang mengalir dalam rangkaian. Transformator tiga fasa prinsipnya merupakan Transformator satu fasa yang telah disusun menjadi tiga fasa dan memiliki dua belitan (belitan primer dan belitan sekunder). Ada tiga metode utama untuk menghubungkan belitan yaitu hubungan segitiga, bintang dan zig-zag (delta, wye dan zig-zag) [2]. Hubungan zig-zag merupakan hubungan dalam bentuk khusus dan tujuan khusus, karena memiliki enam kumparan dimana tiga

gulungan kumparan luar disebut gulungan zig dan tiga gulungan kumparan dalam disebut zag [3]. Pada suatu sistem tegangan tinggi yang tidak memiliki titik netral (ungrounded system) maka akan sangat berbahaya jika terjadi gangguan short circuit fasa ke tanah, yang akan menyebabkan kegagalan sistem dan akhirnya terjadi hal-hal yang tidak diinginkan seperti kebakaran dan lainnya [4], [5], [6].

Transformator dengan hubungan zig-zag hadir di antara sistem distribusi daya, karena salah satu aplikasinya adalah menyediakan titik netral untuk sistem yang tidak memiliki titik netral (ungrounded system), karena fungsi tersebut maka trafo ini sering dikenal sebagai trafo pentanahan (grounding transformer) atau transformator zig-zag. Salah satu tujuannya dari trafo pentanahan adalah untuk mengontrol besarnya arus gangguan yang mengalir dari sisi neutral ke tanah, dengan adanya titik netral maka arus gangguan bisa di groundingkan dan mencegah terjadinya black out pada sistem.

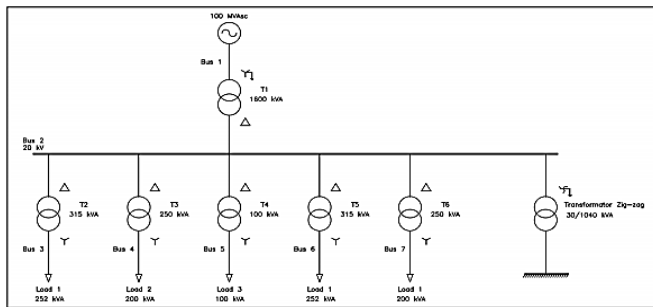
## II. METODOLOGI

### A. Single Line Sistem Distribusi

Single line diagram pada sistem distribusi seperti pada gambar 1. Sistem tanpa pentanahan atau ungrounded system berada di bus 2 tegangan 20 kV. Dari gambar 1 juga diperoleh data berupa :

- 1) Sumber tegangan 400 Volt dan kapasitas 100 MVASC
- 2) Transformator utama step up daya 1600 kVA
- 3) Transformator distribusi step down 5 unit dengan daya 315, 250, 100, 315 dan 250 kVA.
- 4) Transformator zig-zag 1 unit dengan daya 30/1040 kVA.
- 5) Ada 8 bus yang digunakan pada sistem kelistrikan yaitu :
  - Bus 1 dengan tegangan 0.4 kV, dari sumber tenaga terhubung ke transformator step up 1600 kVA.

- Bus 2 dengan tegangan 20 kV, dari transformator step up 1600 kVA terhubung ke transformator step down 315, 250, 100, 315, 250 kVA dan transformator zig-zag.
- Bus 3 dengan tegangan 0.4 kV, terhubung dari transformator step down 315 kVA ke beban.
- Bus 4 dengan tegangan 0.4 kV, terhubung dari transformator step down 250 kVA ke beban.
- Bus 5 dengan tegangan 0.4 kV, terhubung dari transformator step down 100 kVA ke beban.
- Bus 6 dengan tegangan 0.4 kV, terhubung dari transformator step down 315 kVA ke beban.
- Bus 7 dengan tegangan 0.4 kV, terhubung dari transformator step down 250 kVA ke beban.
- Transformator zig-zag 30/1040 kVA, terhubung dari Bus 2 dengan tegangan 20 kV ke grounding atau pentanahan.



Gambar 1. Single Line Diagram Sistem Distribusi

**B. Kapasitas Transformator Zig-zag**

Dari simulasi hubung singkat fase ke tanah di dapat hasil arus 0.030 kA atau 30 ampere per fase. Dikarenakan spesifikasi transformator zig-zag adalah tiga fase, maka total arus :

$$\text{Total Arus} = \text{Arus hubung singkat} \times \text{Tiga fase} \quad (1)$$

$$= 30 \times 3 = 90 \text{ ampere}$$

Untuk menentukan kapasitas daya transformator zig-zag yang akan di buat agar sesuai dengan kebutuhan daya yang mampu menahan arus hubung singkat 90 ampere selama 10 detik dengan melakukan perhitungan menggunakan persamaan 2.

$$S = \left(\frac{I_{SC}}{3}\right) \times \sqrt{3} \times V_{nominal} \quad (2)$$

$$S = \left(\frac{90}{3}\right) \times \sqrt{3} \times 20 = 1040 \text{ kVA}$$

Pada saat terjadi hubung singkat fase ke tanah kapasitas transformator adalah 1.040 kVA. Akan tetapi untuk kondisi tidak terjadi gangguan hubung singkat kapasitas trafo adalah 30kVA, dikarenakan rugi inti besi menggunakan standar dari transformator 30 kVA.

**C. Impedansi Transformator**

Perhitungan resistansi per fasa menggunakan persamaan 3.

$$R = \left(\frac{V}{\sqrt{3}}\right) \times \left(\frac{3}{I_{SC}}\right) \quad (3)$$

$$R = \left(\frac{20000}{\sqrt{3}}\right) \times \left(\frac{3}{90}\right) = 385 \Omega/\text{Fasa}$$

Dari hasil perhitungan resistansi per fasa transformator, dilanjutkan dengan perhitungan untuk mencari reaktansi yang mampu menahan arus hubung singkat 90 ampere seperti yang diinginkan dengan menggunakan persamaan 4.

$$Z = \frac{R \times (kVA_{SC} \times 1000) \times 100}{\frac{VLL^2}{3}} \quad (4)$$

$$Z = \frac{385 \times (1040 \times 1000) \times 100}{\frac{20000^2}{3}} = 300\%$$

**D. Kerapatan arus atau Current Density (J)**

Setelah didapatkan spesifikasi transformator yang dibutuhkan, selanjutnya melakukan perhitungan kekuatan hubung singkat pada konduktor. Suhu maksimal yang mampu di tahan oleh jenis material konduktor tembaga adalah 250 °C, sedangkan aluminium 200 °C. Untuk suhu belitan tipe oil immersed adalah 105 °C. Perhitungan kerapatan arus menggunakan persamaan 5.

$$\theta_t = \theta_0 + J^2 \times a \times t \times 10^3 \quad (5)$$

$$250 = 150 + J^2 \times 8.2 \times 10 \times 10^3$$

$$J = \sqrt{\frac{(250-105) \times 10^3}{8.2 \times 10}} = 42.05 \text{ A/mm}^2$$

Karena kerapatan arus konduktor berpengaruh pada suhu konduktor saat terjadi hubung singkat, maka nilai kerapatan arus konduktor pada desain transformator harus dibawah 42.05 A/mm<sup>2</sup>. Dari perhitungan diatas, desain transformator yang akan dibuat untuk bisa menahan arus hubung singkat sebesar 90 ampere selama 10 second harus memperhatikan spesifikasi sesuai dengan Gambar 2.

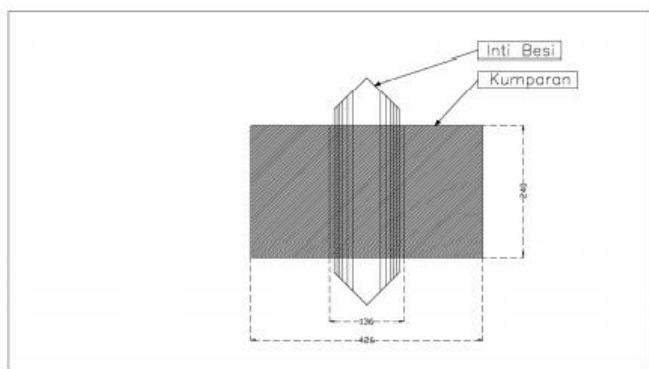
<b>A. GENERAL CHARACTERISTICS</b>			
Design standards	:	IEC 60076	
Transformer type	:	Totally Oil Filled	
Service Condition	:	Outdoor	
Type of oil	:	Mineral Oil	
Number of phase	:	3	Phase
Frequency	:	50	Hz
<b>B. TECHNICAL SPECIFICATION</b>			
Capacity	:	30	kVA (Continuous Rating)
	:	1040	kVA (Short Circuit Rating)
High Voltage	:	20	kV
Vector Group	:	ZN	
Coaling	:	ONAN	
Ambient Temperature Rise	:	Max 40 °C	
Temperature Rise :	- Oil	60	K
	- Winding	65	K
No load losses at nominal voltage	:	150	Watts (Continuous Rating)
Full load losses at nominal tapping	:	-	Watts
Impedance voltage at 90 A at 10 Sec	:	385 ohm/phase	(1040 kVA at 10 sec)
Temperature Insulation Class	:	A (105 °C)	
Sound Pressure level at 0.3 M	:	56	dB
<b>C. INSULATION CLASS OF THE WINDINGS</b>			
		HV	NEUTRAL
Highest system voltage (kV)	:	24	24
Impulse test voltage (kV)	:	125	125
Applied test voltage (kV)	:	50	50

Gambar 2. Spesifikasi Transformator

**E. Perhitungan Tegangan per Lilitan**

Untuk merancang transformator dengan spesifikasi seperti Tabel 3.5, terlebih dahulu kita harus menentukan perbandingan kumparan transformator. Perbandingan kumparan ini dinyatakan dengan tegangan per lilitan. Pemilihan tegangan per lilitan transformator berpengaruh pada regulasi tegangan. Regulasi tegangan transformator memiliki standar ±0.5%. Kumparan ditentukan sejumlah 2200



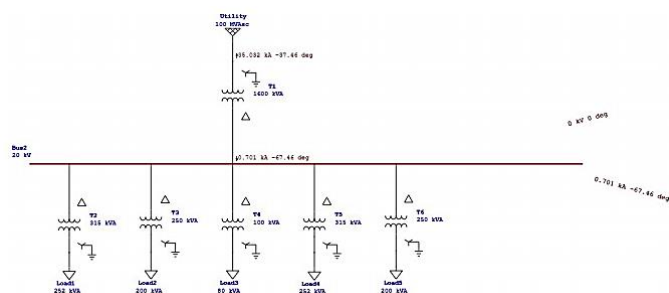


Gambar 4. Lebar dan Tinggi Kumparan

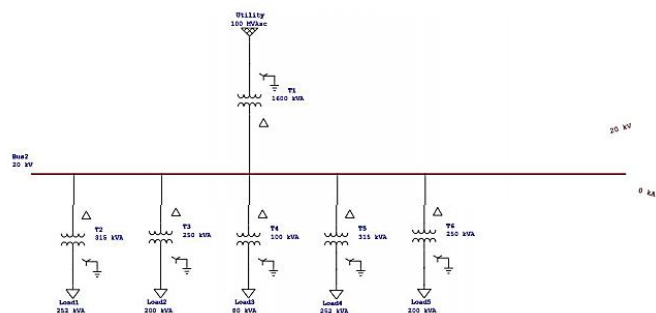
### III. HASIL DAN ANALISA

#### A. Ungrounded System Tanpa Transformator Pentanahan

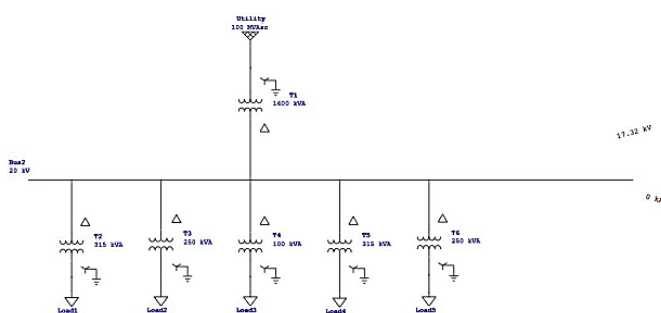
Dari data sistem distribusi dan data transformator disimulasikan di software ETAP. Simulasi hubung singkat ungrounded system tanpa transformator pentanahan bisa dilihat pada Gambar 5, Gambar 6 dan Gambar 7.



Gambar 5. Simulasi hubung singkat tiga fase



Gambar 6. Simulasi hubung singkat satu fasa ke tanah



Gambar 7. Simulasi hubung singkat dua fasa ke tanah

Untuk titik sistem distribusi yang akan dianalisis adalah gangguan hubung singkat fasa ketanah pada saluran distribusi tegangan 20 kV yang berada di bus 2, dikarenakan ungrounded system ada di bus 2 maka penempatan transformator pentanahan ada di bus tersebut. Dari Gambar 5 bisa dilihat titik gangguan pada bus 2 (ungrounded system) arus yang diakibatkan oleh hubung singkat tiga pahasa pada software adalah 615 kA, sedangkan dari Gambar 6 dan Gambar 7 arus saat simulasi hubung singkat satu fasa ke tanah dan dua fasa ke tanah tidak muncul, itu terjadi dikarenakan tidak adanya titik netral atau pentanahan pada ungrounded system. Untuk hasil simulasi hubung singkat pada ungrounded system bisa dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. 5 Arus hubung singkat pada ungrounded system

No	Arus Hubung Singkat tiga fasa (A)	Arus Hubung Singkat Satu Fasa ke Tanah (A)	Arus Hubung Singkat Dua Fasa ke Tanah (A)
1	615	0	0

Untuk menghitung arus hubung singkat pada sistem distribusi, harus diketahui dahulu nilai ketahanan hubung singkat, nilai impedansi sumber dan nilai reaktansi pada trafo utama.

1. Kapasitas trafo utama :

$$\text{Nilai MVA} = \frac{\text{Daya Transformator}}{Z} \tag{17}$$

$$\text{Nilai MVA} = \frac{1.6}{0.07} = 22.857 \text{ MVA}$$

$$MVA_{SC} = \frac{1}{\frac{1}{\text{Utility MVA}} + \frac{1}{\text{Trans MVA}}} \tag{18}$$

$$MVA_{SC} = \frac{1}{\frac{1}{100} + \frac{1}{22.857}} = 18.605 \text{ MVA}$$

2. Perhitungan Impedansi Sumber

Besarnya impedansi transformator utama adalah 7%, agar dapat mengetahui besarnya nilai impedansi urutan positif, negatif dan urutan nol dalam ohm, maka perlu dihitung dulu besar nilai ohm pada 100% nya.

$$Z_S \text{ sisi } 0.4 \text{ kV} = \frac{kV^2}{MVA_{SC}} \tag{19}$$

$$Z_S \text{ sisi } 0.4 \text{ kV} = \frac{0.4^2}{18.605} = 0.00858 \text{ Ohm}$$

$$Z_S \text{ sisi } 20 \text{ kV} = \frac{20^2}{0.4^2} \times Z_S \text{ (sisi } 0.4 \text{ kV)} \tag{20}$$

$$Z_S \text{ sisi } 20 \text{ kV} = \frac{20^2}{0.4^2} \times 0.00858 = 21.45 \text{ Ohm}$$

3. Impedansi urutan positif dan negative ( $Z1=Z2$ )

$$Z1 = \text{reaktansi trafo (\%)} \times ZS$$

$$Z1 = 7\% \times 21.45$$

$$Z1 = 1.5015 \text{ Ohm}$$

$$Z1 = Z2 = 1.5015 \text{ Ohm } 1$$

Impedansi urutan nol ( $Z0$ )

$$Z0 = 3 \times 1.5015$$

$$Z0 = 4.505$$

Pada perhitungan short circuit tiga fase masih tetap menggunakan transformator utama yang sama yaitu 1600 kVA, untuk perhitungan mengacu pada persamaan 21.

$$Arus\ hubung\ singkat\ sisi\ 20\ kV = \frac{MVA_{SC}}{\sqrt{3} \times V_{LL}} \quad (21)$$

$$Arus\ hubung\ singkat\ sisi\ 20\ kV = \frac{18.65}{\sqrt{3} \times 20} = 0.538\ kA$$

Jadi arus saat terjadi hubung singkat tiga fase adalah 0.538 kA atau 538 Ampere.

**B. Ungrounded System Menggunakan Transformator Zig-zag.**

Untuk pemodelan transformator zig-zag di ETAP, dapat diimplementasikan menggunakan koneksi wye-delta. Koneksi wye disisi netral ditanahkan, sedangkan koneksi delta dibiarkan terbuka (bus open / dummy bus) seperti Gambar 8.

**ETAP Knowledge Base**

**Zig-Zag Grounding Transformer**



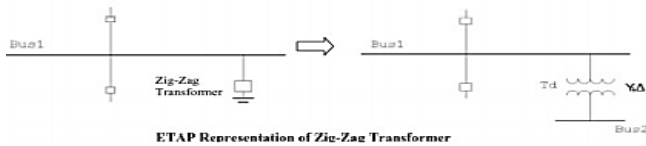
**Description:** Modeling of a Zig-Zag Grounding Transformer  
**Category:** Transformer, Zig-Zag Grounding Transformer  
**Type:** Modeling  
**Keywords:** Zig-Zag Grounding Transformer

**Operation of a Zig-Zag Grounding Transformer**

- During normal operation the current flowing in the zig-zag transformer is the magnetizing current which is very small compared to the normal operating current and hence is negligible
- Under a line to ground fault the current flowing to the ground through the zig-zag transformer is equal to the rated neutral current, if 100% line to neutral voltage is applied

**ETAP Representation**

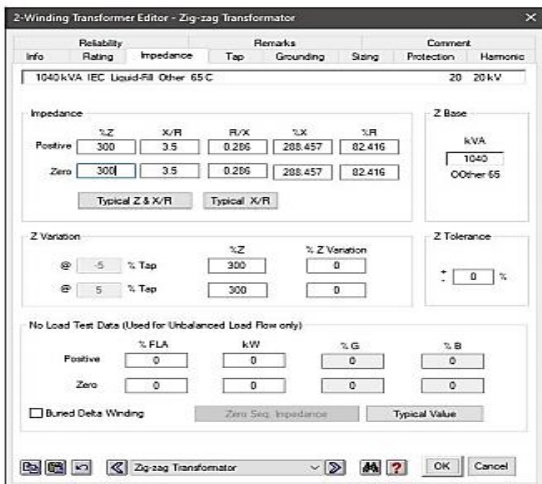
A zig-zag grounding transformer can be represented in ETAP by a Y / Δ transformer with Δ side bus open:



ETAP Representation of Zig-Zag Transformer

- Notes:**
- Td is a Y / Δ connected transformer with a voltage ratio of 1 and Bus2 is a Dummy Bus.
  - There is nothing connected to Bus2 except the transformer Td.

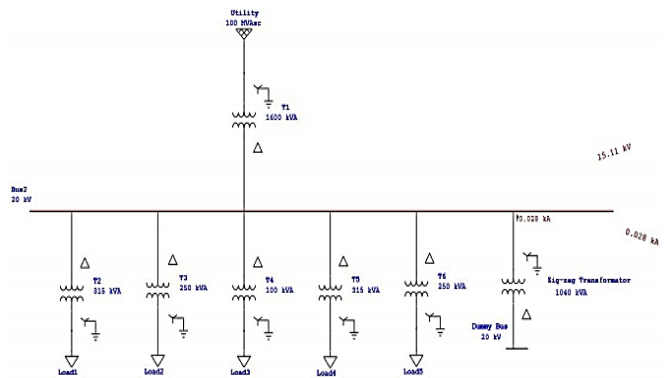
Gambar 8. Pemodelan transformator zig-zag di ETAP



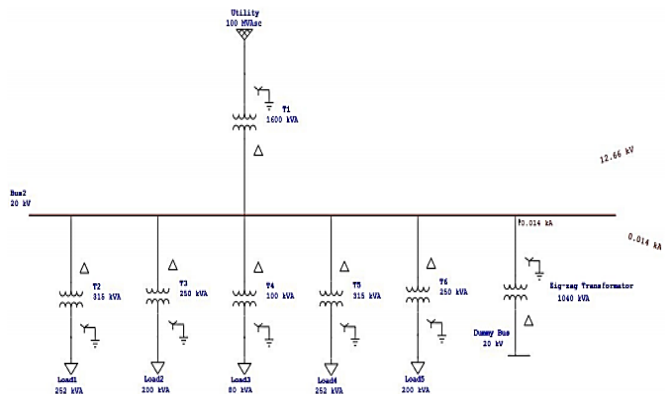
Gambar 9. Impedansi transformator zig-zag

Dari hasil perhitungan desain transformator zig-zag, didapatkan impedansi transformator adalah 300%, Kemudian dimasukkan ke parameter transformator di software ETAP seperti Gambar 9.

Setelah memasukkan data impedansi, simulasi hubung singkat bisa dilihat pada Gambar 10 dan Gambar 11.



Gambar 10. Simulasi hubung singkat satu fase ke tanah



Gambar 11. Simulasi hubung singkat dua fase ke tanah

Pada Gambar 10 dan Gambar 11 di titik gangguan bus 2 (ungrounded system) arus yang diakibatkan oleh hubung singkat fase ke tanah muncul, dikarenakan adanya titik netral yang disediakan oleh transformator zig-zag. Arus short circuit satu fase ke tanah pada bus 2 (ungrounded system) adalah 0.028 kA. Sedangkan arus short circuit dua fase ke tanah adalah 0.014 kA.

1. Perhitungan hubung singkat Satu Fase ke Tanah

Untuk gangguan hubung singkat satu fase ke tanah dapat dihitung Berdasarkan persamaan 22.

$$I_{1\ fase} = \frac{3 \times \frac{V_{LL}}{\sqrt{3}}}{Z_1 + Z_2 + Z_0 + 3Z_f} \quad (22)$$

$$I_{1\ fase} = \frac{3 \times \frac{20000}{\sqrt{3}}}{1.5015 + 1.5015 + 4.5045 + (3 \times 385)} = 29.80\ A$$

Jadi arus per fase saat terjadi hubung singkat fase ke ketanah adalah 29.80 Ampere.

2. Perhitungan hubung singkat Dua Fase ke Tanah

Untuk gangguan hubung singkat dua fase ke tanah dapat dihitung berdasarkan persamaan 23.

$$I_{2\ fase} = \frac{V_{LL}}{Z_1 + 3Z_f + \frac{Z_2 \times Z_0}{Z_2 + Z_0}} \quad (23)$$

$$I_{2\ fase} = \frac{20000}{1.5015 + 1155 + \frac{1.5015 \times 4.5045}{1.5015 + 4.5045}} = 17.27\ A$$

Jadi arus per fasa saat terjadi hubung singkat dua fasa ke ketanah adalah 17.27 Ampere.

### 3. Suhu Belitan Kumbaran Saat terjadi Hubung Singkat

Dari hasil perhitungan kerapatan arus kumbaran nilai yang didapat adalah  $J = 25.87$ . Maka suhu kumbaran transformator pada saat terjadi hubung singkat menggunakan persamaan 24.

$$\theta_1 = \theta_0 + \frac{2 \times (\theta_0 + 235)}{\frac{106000}{J^2 \times t} - 1} \quad (25)$$

$$\theta_1 = 105 + \frac{2 \times (105 + 235)}{\frac{106000}{25.87^2 \times 10} - 1} = 150.85^\circ C$$

Jadi, suhu belitan kumbaran transformator zig-zag saat terjadi hubung singkat adalah  $150.85^\circ C$ .

## IV. KESIMPULAN

Hasil nilai resistansi per fasa pada desain transformator zig-zag adalah  $385 \Omega$ . Nilai impedansi transformator zig-zag adalah 300%. Hasil desain rugi inti besi pada desain transformator zig-zag adalah 143.6 watt. Hasil desain rugi tembaga pada desain transformator zig-zag saat kondisi hubung singkat fasa ke tanah adalah 37893.6 watt. sedangkan Hasil desain rugi tembaga desain transformator zig-zag saat kondisi normal adalah 31.576 watt. Penerapan Transformator zig-zag pada sistem tanpa pentahanan (ungrounded system) lebih baik dan efektif daripada transformator pembanding, karena nilai arus hubung singkat

pada sistem yang lebih kecil yaitu 29.8 ampere dan suhu belitan kumbaran yang lebih rendah  $150.86^\circ C$ .

Pengembangan kedepannya dapat menganalisis dan mensimulasikan proteksi atau pengamanan arus lebih di sisi netral transformator zig-zag ketika terjadi gangguan hubung singkat fasa ke tanah.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] Y. Prasetyo, O. Penangsang, A. Soeprijanto, D. F. Uman, and Y. Anugerah, "Reconfiguration of distribution network for minimizing losses and improving voltage stability index using binary firefly algorithm," *J. Eng. Appl. Sci.*, vol. 11, no. 11, pp. 2366–2371, 2016, doi: 10.3923/jeasci.2016.2366.2371.
- [2] J. Geuthèè, P. Multidisiplin, Y. Prasetyo, A. Choirul Arifin, and T. Multazam, "Analisis Rekonfigurasi dan Penempatan Kapasitor Untuk Meminimalkan Deviasi Tegangan Pada Sistem Distribusi ANALYSIS RECONFIGURATION AND CAPACITOR PLACEMENT FOR MINIMIZING VOLTAGE DEVIATION IN DISTRIBUTION SYSTEM," Agustus, 2018.
- [3] K. R. Hameed, "Zig-zag grounding transformer modeling for zero-sequence impedance calculation using finite element method," *Diyala J. Eng. Sci.*, vol. 8, no. 3, pp. 63–87, 2015.
- [4] D. Mirza and A. Bintoro, "Analisa Pengaruh Neutral Ground Resistant Digardu Induk Bireuen Terhadap Arus Gangguan," vol. 7, pp. 5–11, 2018.
- [5] R. Y. Irsyadillah, "Analisa gangguan hubung singkat sistem tenaga listrik di pusat penampung produksi menggung pertamina asset iv field cepu dengan menggunakan metode etap 12.6," 2018.
- [6] D. E. Rofianto, E. A. Zuliari, and T. Wati, "Analisa Perencanaan Pemasangan Differential Relay Pada PT.Bramindo Niaga Pratama," p. 6, 2019.