

# **Analisis Perbandingan Rugi-Rugi Daya Tipe Winding CU-CU dengan Tipe AL-AL Pada Transformator 3 Fase Kapasitas 400 KVA**

(Comparative Analysis of Power Losses Winding Type CU-CU with Type AL-AL  
on 3-Phase Transformers Capacity 400 KVA)

MUHAMMAD AMIRUDIN SYAH

## **ABSTRACT**

*Transformer is an electrical device that can transfer electrical energy from a voltage level to another voltage level with the same frequency through the performance of a magnetic coupling that is based on the principle of electromagnetic induction. Winding on a transformer in the form of a conductor, the conductor commonly used for transformers is copper (Cu) and aluminum (Al), Copper and aluminum have different characteristics. On a transformer there is a wasted energy or power, often called a power loss. The purpose of this research is to compare it a winding copper type with an aluminum winding type transformer when viewed from the side of electrical and mechanical design. The observed transformer is a 3 phase transformer, with a capacity 400 kVA, a voltage nominal 20 kV-400 V, Dyn-5 vector group. Differences in terms of electrical design include coil current density, coil weight and coil dimensions. In terms of mechanical differences include the dimensions of the tank and iron core transformer. The coil losses ( $W_{cu}$ ) on the winding transformer Cu-Cu 2.85% higher than the coil losses ( $W_{cu}$ ) transformer winding Al-Al and iron core loss ( $W_{fe}$ ) on winding transformer Cu-Cu 4.29% lower than  $W_{fe}$  on Al-Al winding transformer.*

*Keywords: Transformer, Winding, Power Losses.*

## **PENDAHULUAN**

Dalam sistem tenaga listrik terdapat alat listrik yang peranannya sangat vital yaitu transformator atau sering disebut trafo. Transformator digunakan dalam sistem tenaga listrik dan berfungsi untuk menaikkan atau menurunkan level tegangan listrik sesuai dengan kebutuhan. Transformator dapat mengubah energi listrik dari satu level tegangan ke level tegangan lainnya dengan frekuensi yang sama melalui kinerja gandengan magnet berdasarkan prinsip induksi elektromagnet. Pada saat transformator dalam kondisi di energize maka akan terjadi gaya gerak listrik yang mengalir ke inti besi. Dalam kondisi tersebut pada inti besi dan belitan yang mengelilinginya terdapat energi yang terbuang atau sering disebut rugi-rugi daya. Rugi-rugi yang terjadi pada transformator umumnya disebabkan oleh dua macam rugi-rugi yaitu

rugi-rugi inti besi dan rugi-rugi belitan. Perbedaan tipe winding pada transformator tentunya akan mempengaruhi besar nilai rugi-rugi daya yang ditimbulkan, pada umumnya belitan yang digunakan adalah tembaga atau aluminium. Untuk mengetahui besarnya rugi-rugi pada transformator dapat dilakukan dengan perhitungan dan pengujian. Untuk mengetahui dan menentukan besarnya rugi-rugi transformator dengan cara perhitungan, maka harus dilakukan perhitungan dari sisi desain transformator itu sendiri. Pada pembahasan ini akan dibahas analisis perbandingan rugi-rugi daya pada transformator tiga fasa tipe winding tembaga dengan tipe winding aluminium pada kapasitas yang sama besar yaitu sebesar 400 kVA. Perhitungan rugi-rugi daya transformator mengacu pada standar SPLN D3.002; 2007.

## LANDASAN TEORI

### 1. Transformator

Transformator atau trafo adalah alat listrik yang dapat memindahkan energi listrik dan mengubah energi listrik arus bolak-balik dari satu level tegangan ke level tegangan lainnya dengan frekuensi yang sama melalui kinerja gandengan magnet berdasarkan prinsip induksi elektromagnet.

Bila kumparan primer di hubungkan dengan sumber arus bolak-balik/ alternating current (AC) yang amplitudonya bergantung pada tegangan primer dan jumlah lilitan, fluks bersama akan menghubungkan ke kumparan sekunder dan akan menginduksi tegangan di dalamnya dimana nilainya tergantung pada jumlah lilitan sekunder. Dengan pertimbangan jumlah lilitan primer dan sekunder yang tepat, maka perbandingan nilai tegangan yang diinginkan dapat diperoleh. Didalam transformator terdapat inti besi dan kumparan primer dan sekunder. Inti besi yang ada di dalam sebuah transformator berupa lempengan besi tipis yang berisolasi dan disusun menjadi satu. Susunan lempengan besi tersebut lalu di beri lilitan/kumparan pada kedua sisinya.

### 2. Bagian – Bagian Transformator

#### a. Inti Besi

Inti besi dalam sebuah transformator sering disebut dengan core. Inti besi ini berfungsi untuk mempermudah jalan fluks, yang di timbulkan oleh arus listrik yang melalui kumparan. Inti besi terbuat dari steel lamination sheet atau lembaran besi tipis yang berisolasi yang membentuk suatu rangkaian magnetik tertutup dan di rancang dengan rugi-rugi yang rendah. Inti besi ini ada didalam transformator dan dikelilingi oleh kumparan konduktor.

#### b. Lilitan/Kumparan

Kumparan merupakan konduktor yang terdiri dari lilitan primer dan lilitan sekunder. Beberapa lilitan kawat berisolasi membentuk suatu kumparan. Kumparan tersebut di isolasi baik terhadap inti besi maupun terhadap kumparan lain dengan isolasi padat seperti kraft paper, pressboard, nomex, polyglass dan lain-lain. Pada kumparan akan terjadi fluks bila kumparan primer di hubungkan dengan tegangan arus bolak-balik lalu menginduksi tegangan sekunder dan bila pada rangkaian

sekunder di tutup (rangkaiannya berbeban) maka akan mengalir arus pada kumparan. Kontruksi kumparan harus mempunyai kekuatan dielektrik dan mekanik yang kuat untuk kontinuitas produktifitas kerja transformator saat beroperasi. Selain itu juga di sediakan celah-celah minyak (*gap*) untuk memperlancar sirkulasi minyak transformator kedalam kumparan.

#### c. Minyak Transformator

Minyak/oil berfungsi sebagai media pendingin pada saat transformator beroperasi. Minyak tersebut memindahkan panas (sirkulasi) dan bersifat pula sebagai isolasi (daya tegangan tembus tinggi).

#### d. Tap Changer

Berfungsi untuk merubah tegangan sadapan untuk mendapatkan tegangan operasi pada sisi tegangan rendah yang diinginkan, penggunaan *tap changer* ini untuk mengantisipasi terjadinya ketidakstabilan pada sisi tegangan tinggi yang berubah-ubah.

#### e. Bushing

*Bushing* yaitu sebuah konduktor yang diselubungi oleh isolator, yang sekaligus berfungsi sebagai penyekat antara konduktor tersebut dengan tangki trafo.

#### f. Tangki

Berfungsi sebagai tempat dari bagian inti trafo yang di isi minyak transformator serta sebagai tempat bagian-bagian pelengkap lainnya.

### 3. Bahan Penghantar

Fungsi penghantar dalam sistem tenaga listrik adalah untuk menyalurkan energi listrik dari suatu titik ke titik lain. Jenis-jenis bahan penghantar yang umum di pakai di antaranya adalah aluminium dan tembaga.

Tabel 1. Karakteristik Bahan Penghantar

Karakteristik	Bahan Penghantar	
	Alumunium	Tembaga
Berat jenis	2.7 g/cm <sup>3</sup>	8.89 g/cm <sup>3</sup>
Daya hantar	35 Ω.mm <sup>2</sup> /m	57 Ω.mm <sup>2</sup> /m
Tahanan jenis	0.0035x10 <sup>-3</sup> Ωm	0.0021x10 <sup>-3</sup> Ωm
Titik leleh	< 658 °C	1083 °C
Kekuatan Tarik	9 kg/ mm <sup>2</sup>	20-40 kg/ mm <sup>2</sup>

#### 4. Rumus- Rumus Transformator

##### a. Daya Pengenal

Daya pengenal di definisikan dalam satuan kilo Volt Ampere ( kVA ).

$$P = V \cdot I \cdot \sqrt{3}$$

Dimana:

P : Daya pengenal transformator 3 fasa (kVA)

V : Tegangan line-line ( Volt )

I : Arus untuk line-line ( Ampere )

##### b. Arus dan Tegangan

###### ➤ Hubung Delta

$$I_L = \frac{P}{\sqrt{3}VL}$$

$$I_p = \frac{I_L}{\sqrt{3}}$$

$$V_L = \frac{P}{\sqrt{3}I_L}$$

$$V_p = \frac{V_L}{\sqrt{3}}$$

###### ➤ Hubung Bintang

$$I_L = \frac{P}{\sqrt{3}VL}$$

$$I_p = I_L$$

$$V_L = \frac{P}{\sqrt{3}I_L}$$

$$V_p = \frac{V_L}{\sqrt{3}}$$

Dimana :

P : Daya pengenal transformator ( kVA )

I<sub>L</sub> : Arus untuk line ( A )

I<sub>p</sub> : Arus untuk fasa ( A )

V<sub>L</sub> : Tegangan untuk line ( Volt )

V<sub>p</sub> : Tegangan untuk fasa ( Volt )

##### c. Jumlah Lilitan

Kumparan primer :

$$N_1 = \frac{V_p}{V_t}$$

Kumparan sekunder :

$$N_2 = \frac{V_s}{\sqrt{3}V_t}$$

Dimana :

N<sub>1</sub> = Jumlah lilitan kumparan primer

N<sub>2</sub> = Jumlah lilitan kumparan sekunder

V<sub>p</sub> = Tegangan primer ( Volt )

V<sub>s</sub> = Tegangan sekunder ( Volt )

##### d. Kerapatan Arus Kumparan

Untuk kerapatan arus pada kumparan primer dan sekunder adalah berdasarkan arus fasanya, untuk perhitungan adalah sebagai berikut :

$$J_p = \frac{I_p}{A_1} \quad \text{dan} \quad J_s = \frac{I_s}{A_2}$$

Dimana:

J<sub>p</sub> : Kerapatan arus kumparan primer (A/mm<sup>2</sup>)

J<sub>s</sub> : Kerapatan arus kumparan sekunder

I<sub>p</sub> : Arus fasa kumparan primer (A)

I<sub>s</sub> : Arus fasa kumparan sekunder (A)

A<sub>1</sub>: Luas penampang konduktor primer (mm<sup>2</sup>)

A<sub>2</sub>: Luas penampang konduktor sekunder

J<sub>p</sub> : Kerapatan arus kumparan primer (A/mm<sup>2</sup>)

J<sub>s</sub> : Kerapatan arus kumparan sekunder

I<sub>p</sub> : Arus fasa kumparan primer (A)

I<sub>s</sub> : Arus fasa kumparan sekunder (A)

A<sub>1</sub>:Luas penampang konduktor primer (mm<sup>2</sup>)

A<sub>2</sub>:Luas penampang konduktor sekunder

##### e. Kerapatan Fluks Inti Besi Maksimum

Untuk menghitung kerapatan fluks inti besi maksimum, dapat di hitung dengan rumus sebagai berikut :

$$B_m = \frac{V_t}{4.44 \times f \times A_i}$$

Dimana :

B<sub>m</sub> : Kerapatan fluks inti besi maksimum (T)

V<sub>t</sub> : Tegangan per lilitan ( Volt / turn )

f : Frekuensi

A<sub>i</sub> : Luas inti besi murni ( mm<sup>2</sup> )

##### f. Rugi-Rugi Inti Besi

Rugi-rugi inti besi dalam transformator dapat di nyatakan di dalam persamaan berat rugi-rugi inti per satuan berat yang di nyatakan dengan rumus sebagai berikut :

$$W_{F_e} = M_{F_e} \times W_B$$

Dimana :

W<sub>F<sub>e</sub></sub> : Rugi inti besi (Watt)

M<sub>F<sub>e</sub></sub> : Berat total inti besi transformator (kg)

W<sub>B</sub> : Rugi-rugi inti per satuan berat (Watt/kg)

Tabel 2. Nilai W<sub>B</sub> Terhadap Kerapatan Fluks Inti Besi

W <sub>B</sub>	0,62	0,63	0,64	0,65	0,66	0,67
B <sub>m</sub>	1.32	1.33	1.34	1.35	1.36	1.37

g. Rugi-Rugi Tembaga

Rugi-rugi ini merupakan penjumlahan antara rugi-rugi tembaga pada kumparan primer dengan rugi-rugi tembaga pada kumparan sekunder. Faktor yang memperkecil tahanan total kumparan adalah luas penampang konduktor dan panjang konduktor. Rugi-rugi tembaga dapat dinyatakan sebagai berikut :

$$W_{Cu} = W_{Cu 1} \text{ (primer) } + W_{Cu 2} \text{ (sekunder)}$$

$$W_{Cu} = ( I_p^2 \times R_1 ) + ( I_s^2 \times R_2 )$$

Dimana untuk  $R_1 = \frac{\rho_{cu} \times N1 \times T1}{A1}$

$$R_2 = \frac{\rho_{cu} \times N2 \times T2}{A2}$$

Sehingga di dapat rumus untuk rugi tembaga pada sisi primer dan sisi sekunder sebagai berikut :

$$W_{Cu 1} = I_p^2 \left[ \frac{\rho_{cu} \times N1 \times T1}{A1} \right]$$

$$W_{Cu 2} = I_s^2 \left[ \frac{\rho_{cu} \times N2 \times T2}{A2} \right]$$

Dimana :

- $W_{Cu}$  : Rugi total tembaga ( Watt )
- $W_{Cu 1}$  :Rugi-rugi tembaga sisi primer (Watt)
- $W_{Cu 2}$  :Rugi-rugi tembaga sisi sekunder
- $I_p$  : Arus fasa primer ( A )
- $I_s$  : Arus fasa sekunder ( A )
- $R_1$  : Resistance kumparan primer (  $\Omega$  )
- $R_2$  : Resistance kumparan sekunder (  $\Omega$  )
- $\rho_{cu}$  : Tahanan jenis bahan kumparan (  $\mu\Omega m$  )
- $N1$  : Jumlah lilitan kumparan primer
- $T1$  : Keliling rata-rata kumparan primer (mm)
- $T2$  : Keliling rata-rata kumparan sekunder
- $A1$  : Luas penampang konduktor primer (mm<sup>2</sup>)
- $A2$  : Luas penampang konduktor sekunder

h. Reaktansi, Resistansi dan Impedansi

Sebelum mencari impedansi maka langkah yang di ambil harus mencari nilai reaktansi terlebih dahulu, dengan perhitungan sebagai berikut :

➤ Reaktansi

$$X = \left[ \frac{8 \times f \times I_p \times N1^2 \times S}{\alpha \times V_p / \sqrt{3}} \right] \times 10^{-7}$$

➤ Resistansi

$$R = \frac{W_{cu}}{P} \times 100 \%$$

➤ Impedansi

$$Z = \sqrt{X^2 + R^2}$$

Dimana :

Z : Impedansi ( % )

i. Efisiensi Transformator

Nilai efisiensi merupakan perbandingan antara daya output dengan daya input, sehingga di dapatkan persamaan sebagai berikut :

$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{in}} \times 100 \%$$

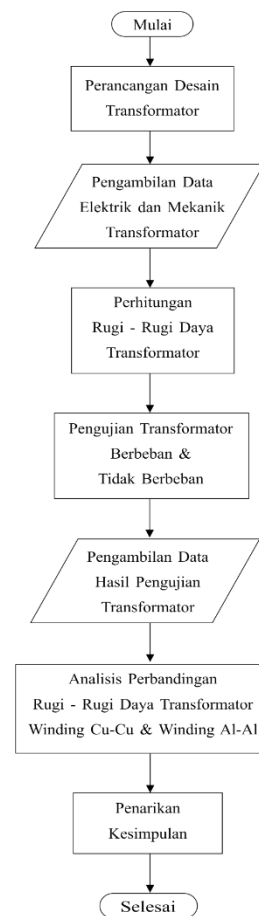
$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{out} + P_{losses}} \times 100 \%$$

$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{out} + P_{cu} + P_{fe}} \times 100 \%$$

Dimana :

- $\eta$  : Effisiensi ( % )
- $P_{out}$  : Daya transformator ( kVA )
- $P_{cu}$  : Rugi-rugi tembaga ( Watt )
- $P_{fe}$  :Rugi-rugi besi ( Watt )

METODOLOGI PENELITIAN



Gambar 1. Alur Proses Penelitian

Penjelasan alur proses penelitian perbandingan rugi-rugi daya transformator *winding* Cu-Cu dan transformator *winding* Al-Al adalah sebagai berikut:

1. Observasi awal sebelum memulai penelitian dengan cara melihat sisi desain transformator itu sendiri baik dari segi elektrik maupun segi mekanik. Rancangan desain transformator dibuat oleh *Engineer* di PT.Trafoindo Prima Perkasa. Perancangan desain meliputi bahan intibesi yang akan digunakan, bahan kumparan primer-sekunder, perhitungan ukuran dan ketebalan konduktor, rasio lilitan transformator, peralatan bantu yang akan dipasang, dan dimensi-dimensi mekanikal transformator.
2. Pengambilan data desain meliputi data-data elektrikal dan mekanikal, berupa rancangan data perhitungan transformator.
3. Perhitungan rugi-rugi daya transformator meliputi perhitungan rugi besi dan perhitungan rugi kumparan. Dari kedua rugi-rugi tersebut maka didapatkan rugi-rugi daya total pada transformator. Rugi besi adalah rugi-rugi daya yang terjadi pada bagian inti besi, sedangkan rugi kumparan adalah rugi-rugi daya yang terjadi pada kumparan baik kumparan primer dan kumparan sekunder.
4. Pengujian transformator berbeban dan tidak berbeban, pengujian ini dilakukan untuk mengetahui rugi-rugi transformator secara aktual. Pengujian berbeban (*Full Load Loss Test*) dilakukan untuk mengetahui besarnya rugi-rugi kumparan, sedangkan pengujian tidak berbeban dilakukan untuk mengetahui besarnya rugi-rugi pada inti besi.
5. Pengambilan data pengujian transformator dapat dilakukan setelah pengujian dilaksanakan. Data yang diambil adalah data hasil beberapa pengujian *Routine Test Transformer*, data ini dijadikan referensi untuk analisis perbandingan rugi-rugi daya transformator *winding* Cu-Cu dan transformator *winding* Al-Al.
6. Langkah selanjutnya adalah melakukan pengolahan data untuk menganalisis perbandingan rugi-rugi daya transformator *winding* Cu-Cu dan transformator *winding* Al-Al dengan kapasitas 400 kVA. Data yang dibandingkan adalah data perhitungan yang dapat mempengaruhi besar rugi-rugi daya pada transformator.
7. Setelah hasil pengolahan data dan analisis didapatkan, kemudian dilanjutkan dengan

penarikan kesimpulan. Pada kesimpulan ini juga diberikan saran-saran untuk pembaca.

## DATA DAN ANALISA

Dalam proses penelitian sebuah transformator sangat di perlukan sekali data-data dari sebuah transformator itu sendiri, baik data sisi elektrik maupun data sisi mekanik yang dapat di jadikan sebagai bahan referensi dan acuan dalam menganalisa rugi-rugi daya sebuah transformator. Untuk membandingkan rugi-rugi daya pada transformator dengan *winding* tembaga (Cu-Cu) dengan *winding* aluminium (Al-Al) dapat melihat data transformator dibawah ini dimana data transformator yang dijadikan referensi ini merupakan data transformator yang sudah sesuai dengan standar SPLN D3.003-1;2007.

Tabel 3. Data Utama Transformator

Data	Nilai
Rating Daya	400 kVA
Frekuensi	50 Hz
Tegangan primer	20000 Volt
Tegangan sekunder	400 Volt
Arus primer	11,54 Ampere
Arus sekunder	577,35 Ampere
Teg. sadapan primer	21 – 20,5 – 20 – 19,5 – 19 kV
Tegangan Impedans	4.0 %
Kelompok hubungan	Dyn5
Standar	SPLN D3.002-1:2007
Jenis minyak	Mineral

Transformator dengan tipe *winding* Cu-Cu (tembaga) secara signifikan memiliki perbedaan pada bagian elektrik dengan data transformator tipe *winding* Al-Al (aluminium). Berdasarkan data desain perhitungan transformator *winding* Cu-Cu dan data desain perhitungan transformator yang menggunakan *winding* Al-Al maka dapat di peroleh data seperti tabel 4 berikut ini.

Tabel 4. Data Perbedaan Bagian Elektrik Berdasarkan Perhitungan Desain

Data	400 kVA Winding Cu-Cu	400 kVA Winding Al-Al
Rugi-rugi besi	581 Watt	607 Watt
Rugi-rugi kumparan primer	2381,7 Watt	2172,3 Watt
Rugi-rugi kumparan sekunder	1486,2 Watt	1585,7 Watt
Arus primer / Arus sekunder	6,67 A / 577,35 A	6,67 A / 577,35 A
Jumlah kumparan primer	1905	1992
Jumlah Kumparan Sekunder	22	23
Tegangan per lilitan	10,49 V	10,04 V
Kerapatan arus kumparan primer	4,07 A/mm <sup>2</sup>	2,17 A/mm <sup>2</sup>
Kerapatan arus kumparan sekunder	2,83 A/mm <sup>2</sup>	1,05 A/mm <sup>2</sup>
Kerapatan fluks inti besi (Bm)	1,36 Tesla	1,33 Tesla
Ukuran kumparan primer	Tipe pvf Diameter :1,9 mm	Tipe pvf Diameter : 2,6 mm
Ukuran kumparan sekunder	Tipe Sheet 0,9 x 330 mm	Tipe Sheet 1,2 x 455 mm
% Resistansi (R)	0,96 %	0,94 %
% Reaktansi (X)	4,10 %	4,28 %
% Impedansi (Z)	3,98 %	3,78 %

### 1. Arus Kumparan

Berdasarkan perhitungan arus kumparan baik pada transformator *winding* tembaga maupun transformator *winding* aluminium nilainya adalah sama baik pada arus kumparan primer dan arus kumparan sekundernya. Hal ini disebabkan karena tegangan transformator di sisi *High Voltage* pada transformator *winding* tembaga maupun transformator *winding* aluminium adalah sama yaitu sebesar 20000 V.

Demikian juga di sisi *Low Voltage* pada transformator *winding* tembaga dan transformator *winding* aluminium bernilai sama yaitu sebesar 400 V. Sehingga nilai arus kumparannya menjadi sama besar antara transformator *winding* tembaga maupun transformator *winding* aluminium.

### 2. Tegangan Per Lilitan

Di lihat dari perhitungan nilai tegangan per lilitan transformator *winding* tembaga memiliki tegangan per lilitan lebih tinggi dari transformator *winding* aluminium. Hal ini disebabkan karena desain lilitan sekunder pada transformator *winding* tembaga lebih sedikit dibandingkan lilitan sekunder transformator *winding* aluminium.

### 3. Kerapatan Arus Kumparan

Dari perhitungan kerapatan arus kumparan transformator *winding* tembaga memiliki kerapatan arus kumparan lebih tinggi dari transformator *winding* aluminium. Hal ini disebabkan karena perbedaan ukuran lilitan yang digunakan, semakin besar ukuran lilitan yang digunakan maka akan semakin kecil kerapatan arus kumparannya.

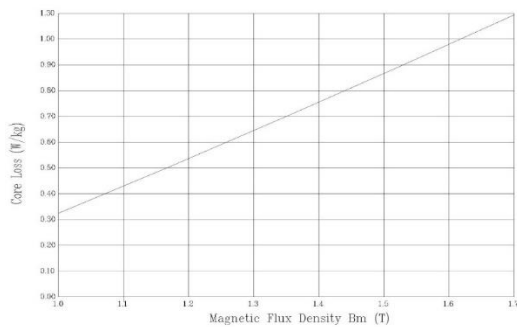
### 4. Kerapatan Fluks Inti Besi

Dari hasil perhitungan kerapatan fluks inti besi transformator dapat diketahui bahwa semakin besar nilai kerapatan inti besi maka penampang kumparan intinya semakin kecil untuk kapasitas transformator yang sama besar.

### 5. Rugi-Rugi Besi

Dari hasil perhitungan rugi-rugi inti besi diketahui bahwa rugi inti besi pada transformator *winding* aluminium lebih besar dibanding dengan transformator *winding* tembaga, hal ini dipengaruhi oleh berat netto inti besi dan nilai  $W_b$ . Nilai  $W_b$  adalah Rugi -rugi inti per satuan berat

(Watt/Kg) dimana berasal dari kerapatan fluks inti besi ( $B_m$ ). Sedangkan berat netto inti besi adalah berat total dari inti besi yang terpasang pada transformator. Nilai  $W_B$  mempengaruhi nilai rugi-rugi besi. Nilai  $W_B$  di pengaruhi oleh nilai kerapatan fluks inti besi sesuai dengan karakteristik masing-masing jenis inti besi.



Gambar 2. Grafik Nilai Core Loss dengan Nilai  $B_m$

Tabel 5. Data Rugi-Rugi Inti Besi

Data	Cu-Cu	Al-Al	Ket
Rugi Inti Besi	581 W	607 W	Hasil Perhitungan
	576 W	610 W	Hasil Pengujian

Perbandingan rugi inti besi ( $W_{fe}$ ) pada transformator *winding* Cu-Cu dengan transformator *winding* Al-Al

$$\frac{581}{607} \times 100 \% = 95,71\%$$

Jadi  $W_{fe}$  pada transformator *winding* Cu-Cu 4,29% lebih rendah dari  $W_{fe}$  *winding* Al-Al. Semakin rendah rugi-rugi besi maka semakin baik kualitas transformator karena bisa mencegah terjadinya *over heating* pada inti besi.

## 6. Rugi-Rugi Kumparan

Data rugi-rugi kumparan adalah sebagai berikut:

- Rugi kumparan primer
  - Winding* Cu-Cu : 2382 Watt
  - Winding* Al-Al : 2172 Watt
- Rugi kumparan sekunder
  - Winding* Cu-Cu : 1486 Watt
  - Winding* Al-Al : 1586 Watt

- Rugi kumparan total (Perhitungan)

- Winding* Cu-Cu : 3868 Watt
- Winding* Al-Al : 3758 Watt

- Rugi kumparan total (*Load Test*)

- Winding* Cu-Cu : 3924,57 Watt
- Winding* Al-Al : 3882,09 Watt

Perbandingan rugi-rugi kumparan ( $W_{cu}$ ) pada transformator *winding* Al-Al dengan transformator *winding* Cu-Cu

$$\frac{3758}{3868} \times 100 \% = 97,15\%$$

Jadi rugi-rugi kumparan ( $W_{cu}$ ) pada transformator *winding* Cu-Cu 2,85% lebih tinggi dari rugi-rugi kumparan ( $W_{cu}$ ) *winding* Al-Al. Hal ini di pengaruhi oleh nilai resistan yang berbeda, dimana nilai resistan tersebut berasal dari perhitungan meliputi tahanan jenis, jumlah lilitan ( $N$ ), keliling rata-rata kumparan ( $T$ ) dan luas penampang konduktor ( $A$ ). Tahanan jenis aluminium sebesar  $0.035 \Omega\text{-mm}$  sedangkan tahanan jenis tembaga sebesar  $0.021 \Omega\text{-mm}$ . Dengan mengacu rumus  $W_{cu} = I^2 R$ , maka semakin besar nilai  $R$  dengan nilai  $I$  konstan maka nilai  $W_{cu}$  akan semakin besar. Nilai  $R$  berbanding terbalik dengan luas penampang ( $A$ ), semakin kecil nilai  $R$ , maka luas penampangnya akan semakin besar. Hal ini terbukti bahwasanya luas penampang konduktor pada transformator *winding* Al-Al lebih besar dibandingkan dengan transformator *winding* Cu-Cu.

Berdasarkan data dapat diketahui bahwa nilai rugi-rugi daya pada transformator *winding* tembaga lebih besar di banding dengan transformator *winding* aluminium. Lalu untuk mengetahui bagus atau tidaknya nilai rugi-rugi daya yang terjadi pada transformator, nilai rugi-rugi tersebut dapat dibandingkan dengan standar SPLN D3.002-1:2007. Pada standar SPLN D3.002-1:2007 disebutkan bahwa nilai rugi-rugi total tidak boleh lebih dari 5% spesifikasi transformator.

Maka transformator dengan kapasitas 400 kVA spesifikasi rugi-rugi daya-nya tidak boleh melebihi 5% dari rugi-rugi daya total berdasarkan ketentuan spesifikasi SPLN D3.002-1:2007. Dimana untuk transformator dengan kapasitas 400 kVA spesifikasi rugi-rugi daya nya adalah sebagai berikut:

- ❖ Rugi berbeban : 3850 Watt
- ❖ Rugi tanpa beban : 595 Watt
- ❖ Rugi total : 4445 Watt

- ❖ Batas rugi-rugi pada transformator yang diijinkan adalah maksimum 5% dari spesifikasi yang ditentukan.

$$\begin{aligned} & \text{Maka } (5\% \times 4445) + 4445 \\ & = 222,25 + 4445 \\ & = 4667,25 \text{ Watt} \end{aligned}$$

Melihat data yang perhitungan maupun pengujian transformator kapasitas 400 kVA baik untuk transformator *winding* tembaga dan transformator *winding* alumunium jika dibandingkan dengan standar SPLN D3.002-1:2007 maka kedua transformator tersebut sama baiknya karena masih masuk dalam *range* spesifikasi yang ditentukan.

### KESIMPULAN

Sesuai data-data hasil perhitungan dan analisa pada bab-bab sebelumnya, aplikasi analisis perbandingan rugi-rugi daya tipe *winding* Cu-Cu dengan tipe *winding* Al-Al pada transformator 3 fasa kapasitas 400 kVA Tegangan 20 kV-400V Vektor Grup Dyn-5 dapat di simpulkan sebagai berikut:

1. Rugi-rugi besi ( $W_{fe}$ ) pada transformator *winding* Cu-Cu 4,29% lebih rendah dari  $W_{fe}$  pada transformator *winding* Al-Al. Hal ini dipengaruhi oleh berat netto inti besi dan nilai  $W_b$ . Nilai  $W_b$  adalah Rugi -rugi inti per satuan berat (Watt/Kg) dimana berasal dari kerapatan fluks inti besi ( $B_m$ ). Sedangkan berat netto inti besi adalah berat total dari inti besi yang terpasang pada transformator. Semakin rendah rugi-rugi besi maka semakin baik kualitas transformator karena bisa mencegah terjadinya *over heating* pada inti besi.
2. Rugi-rugi kumparan ( $W_{cu}$ ) pada transformator *winding* Cu-Cu 2,85% lebih tinggi dari rugi-rugi kumparan ( $W_{cu}$ ) transformator *winding* Al-Al. Hal ini di pengaruhi oleh nilai resistan pada transformator *winding* Cu-Cu lebih tinggi dibanding transformator *winding* Al-Al, Dengan mengacu rumus  $W_{cu} = I^2 R$ , maka semakin besar nilai R dengan nilai I konstan maka nilai  $W_{cu}$  akan semakin besar.
3. Luas penampang kumparan pada transformator *winding* Al-Al lebih besar dibanding pada transformator *winding* Cu-Cu karena untuk mengejar nilai resistan

yang ideal untuk transformator 3 fasa kapasitas 400 kVA dengan spesifikasi rugi-rugi daya yang telah ditentukan oleh SPLN D3.002-1:2007. Dimana tahanan jenis alumunium sebesar  $0.0035 \times 10^{-3} \Omega m$  dan tahanan jenis tembaga  $0.0021 \times 10^{-3} \Omega m$ .

4. Dimensi transformator pada transformator *winding* Al-Al lebih besar dibanding pada transformator *winding* Cu-Cu karena dimensi kumparan maupun intibesi pada transformator *winding* Al-Al juga lebih besar dibandingkan dengan transformator *winding* Cu-Cu.

### DAFTAR PUSTAKA

- Baddarudin, Ahmad Charis. *Analisa Perbandingan Tipe Winding Cu-Cu dengan Tipe Al-Al Pada Trafo Distribusi 3 Fasa Kapasitas 630 KVA Tegangan 20kV-400V Vektor Grup DYN5*. Digilib Mercubuana, Jakarta.
- Djenny Latif . (2015), *Analisa Perhitungan Rugi Besi Pada Transformator Distribusi*. Digilib Mercubuana, Jakarta.
- Galang Candra Utama. (2017). *Analisis Rugi-Rugi Daya Pada Transformator Distribusi 3-Fasa kapasitas 2000 VA, tipe winding Cu-Cu, Vektor Group Dyn5 di PT.Trafoindo Prima Perkasa*". Digilib Mercubuana, Jakarta.
- IEC-6076-1 Standard Edition 2 Consolidated with Amandement. (1999), *Power Transformer*.
- Kadir, Abdul. (1996), *Pembangkit Tenaga Listrik*, UI-Press, Jakarta.
- Kadir, Abdul. (1989), *Transformator*, Elex Media Komputindo Gramedia, Jakarta.
- Marsudi, Djiteng. (2011), *Pembangkitan Energi Listrik Edisi Kedua*, Erlangga Jakarta.
- Standar Umum Perusahaan Listrik Negara. (2007), *Spesifikasi Transformator Distribusi*, SPLN D3.002-1.
- Sumanto. (1996), *Teori Transformator*, Andi, Yogyakarta.



- Syahputra, R., Robandi, I., Ashari, M. (2015). *Performance Improvement of Radial Distribution Network with Distributed Generation Integration Using Extended Particle Swarm Optimization Algorithm*. International Review of Electrical Engineering (IREE), 10(2). pp. 293-304.
- Syahputra, R., Robandi, I., Ashari, M. (2015). *Reconfiguration of Distribution Network with DER Integration Using PSO Algorithm*. TELKOMNIKA, 13(3). pp. 759-766.
- Syahputra, R., (2012), “*Distributed Generation: State of the Arts dalam Penyediaan Energi Listrik*”, LP3M UMY, Yogyakarta.
- Syahputra, R., (2016), “*Transmisi dan Distribusi Tenaga Listrik*”, LP3M UMY, Yogyakarta, 2016.
- Syahputra, R., (2015), “*Teknologi dan Aplikasi Elektromagnetik*”, LP3M UMY, Yogyakarta, 2016.
- Syahputra, R., Robandi, I., Ashari, M. (2014). *Optimization of Distribution Network Configuration with Integration of Distributed Energy Resources Using Extended Fuzzy Multi-objective Method*. International Review of Electrical Engineering (IREE), 9(3), pp. 629-639.
- Syahputra, R., Robandi, I., Ashari, M. (2014). *Performance Analysis of Wind Turbine as a Distributed Generation Unit in Distribution System*. International Journal of Computer Science & Information Technology (IJCSIT), Vol. 6, No. 3, pp. 39-56.
- Syahputra, R., (2013), “*A Neuro-Fuzzy Approach For the Fault Location Estimation of Unsynchronized Two-Terminal Transmission Lines*”, International Journal of Computer Science & Information Technology (IJCSIT), Vol. 5, No. 1, pp. 23-37.
- Syahputra, R., (2012), “*Fuzzy Multi-Objective Approach for the Improvement of Distribution Network Efficiency by Considering DG*”, International Journal of Computer Science & Information Technology (IJCSIT), Vol. 4, No. 2, pp. 57-68.
- Syahputra, R., Soesanti, I. (2015). “*Control of Synchronous Generator in Wind Power Systems Using Neuro-Fuzzy Approach*”, Proceeding of International Conference on Vocational Education and Electrical Engineering (ICVEE) 2015, UNESA Surabaya, pp. 187-193.
- Syahputra, R., Robandi, I., Ashari, M. (2014). “*Optimal Distribution Network Reconfiguration with Penetration of Distributed Energy Resources*”, Proceeding of 2014 1st International Conference on Information Technology, Computer, and Electrical Engineering (ICITACEE) 2014, UNDIP Semarang, pp. 388 - 393.
- Syahputra, R., Robandi, I., Ashari, M., (2013), “*Distribution Network Efficiency Improvement Based on Fuzzy Multi-objective Method*”. International Seminar on Applied Technology, Science and Arts (APTECS). 2013; pp. 224-229.
- Syahputra, R., Robandi, I., Ashari, M., (2012), “*Reconfiguration of Distribution Network with DG Using Fuzzy Multi-objective Method*”, International Conference on Innovation, Management and Technology Research (ICIMTR), May 21-22, 2012, Melacca, Malaysia.
- Syahputra, R. (2010). *Fault Distance Estimation of Two-Terminal Transmission Lines*. Proceedings of International Seminar on Applied Technology, Science, and Arts (2nd APTECS), Surabaya, 21-22 Dec. 2010, pp. 419-423.
- Syahputra, R., Soesanti, I. (2015). *Power System Stabilizer model based on Fuzzy-PSO for improving power*

*system stability*. 2015 International Conference on Advanced Mechatronics, Intelligent Manufacture, and Industrial Automation (ICAMIMIA), Surabaya, 15-17 Oct. 2015 pp. 121 - 126.

Syahputra, R., Soesanti, I. (2016). *Power System Stabilizer Model Using Artificial Immune System for Power System Controlling*. International Journal of Applied Engineering Research (IJAER), 11(18), pp. 9269-9278.

Zuhal. (1991), *Dasar Teknik Tenaga Listrik dan Elektronika Daya*, Gramedia, Jakarta.

---

PENULIS:

Muhamad Amirudin Syah

Prodi Teknik Elektro, Fakultas Teknik,  
Universitas Muhammadiyah Yogyakarta.  
Jalan Lingkar Selatan, Tamantirto, Kasihan,  
Bantul, Yogyakarta, 55183.

Email :

[Muhammad.amirudin.2016@ft.umy.ac.id](mailto:Muhammad.amirudin.2016@ft.umy.ac.id)