



## **ANALISIS RUGI – RUGI TRANSFORMATOR DISTRIBUSI 5MVA 20KV/6,3KV**

**Dede Supriadi, Waluyo**

Institut Teknologi Nasional Bandung, Indonesia

Email: [dede\\_supriadi7@mhs.itenas.ac.id](mailto:dede_supriadi7@mhs.itenas.ac.id)

### **ABSTRAK**

*Transformator merupakan suatu alat listrik yang dapat memindahkan dan mengubah energi listrik dari satu atau lebih rangkaian listrik ke rangkaian listrik lain. Transformator daya dan transformator distribusi mengalami rugi – rugi akibat dari rugi besi dan rugi tembaga, upaya tersebut penulis melakukan penelitian hubungan rugi – rugi terhadap temperature. Cara melakukan analisis rugi – rugi terdapat dua metode yaitu rugi – rugi tanpa beban dan rugi – rugi berbeban. Rugi – rugi tanpa beban adalah pengetesan dilakukan dengan menginjeksikan tegangan dan frekuensi nominal pada sisi tegangan tinggi dan sisi tegangan rendah dibiarkan terbuka dan rugi – rugi berbeban adalah pengetesan dilakukan dengan menginjeksikan arus dan frekuensi nominal pada sisi tegangan rendah dan sisi tegangan rendah dihubungkan satu sama lain. Hasil pengetesan no load losses diperoleh nilai rugi besi adalah 6224 W dan arus yang dihasilkan pada saat injeksi tegangan pada pengujian rugi – rugi tanpa beban (arus beban Nol) yaitu 120,4 A dan hasil load losses diperoleh nilai rugi – rugi tembaga adalah 42296,94 W dan tegangan yang dihasilkan pada saat injeksi arus pada pengujian rugi – rugi berbeban (tegangan impedansi) yaitu 945,34 V. Nilai dari perhitungan rugi – rugi tanpa beban dan berbeban masih termasuk toleransi pada IEC 60067 dan dari hasil yang didapat bahwa semakin tinggi suhu maka akan semakin besar rugi – rugi yang diperoleh.*

**Kata kunci:** transformator, rugi – rugi tanpa beban, rugi – rugi berbeban, arus beban nol, tegangan impedansi

### **ABSTRACT**

*Transformer is an electrical device that can transfer and convert electrical energy from one or more electrical circuits to other electrical circuits. Power transformers and distribution transformers experience losses from copper losses, the authors conducted research on the relationship between losses and temperature. There are two methods of conducting a loss analysis, namely no-loss and load-loss. No-load loss is a test carried out by injecting nominal voltage and frequency on the high voltage side and the low voltage side is left open and Load loss is carried out by injecting nominal current and frequency on the low voltage and low voltage side of each other. The results of the no-load loss test obtained that the iron loss value was 6224 W and the current generated at the time of voltage injection in the no-load loss test (no load current) was 120.4 A and the loss result obtained the copper loss value was 42296,94 W and the resulting voltage at the time of injection of current in the load loss test (impedance voltage) is 945,34 V. The value of the calculation of no-load and load losses still includes tolerances in IEC 60067 and the results obtained are that the higher the temperature the greater the losses will be.*

**Keywords:** transformer, no load losses, load losses, no load current, impedance voltage

## 1. PENDAHULUAN

Di era globalisasi seperti sekarang ini sektor industri di Indonesia sudah banyak yang mengalami kemajuan sengan pesat sekali namun seiring dengan kemajuan tersebut pemesanan transformator semakin banyak dibutuhkan, salah satu perusahaan yang memproduksi transformator adalah PT. Trafoindo Prima Perkasa.

Transformator sebagai perangkat listrik statis, digunakan dalam sistem tenaga listrik untuk mentransfer daya antar sirkuit melalui penggunaan elektromagnetik induksi. Istilah transformator daya digunakan untuk merujuk pada transformator yang digunakan antara generator dan sirkuit distribusi, dan biasanya pada 500 kV dan diatasnya (Harlow, 2007).

Dasar dari transformator apabila ada arus listrik bolak – balik yang mengalir mengelilingi suatu inti besi maka akan menghasilkan medan magnet dan apabila medan magnet tersebut dikelilingi oleh suatu belitan maka pada kedua ujung belitan akan terjadi beda tegangan mengelilingi magnet, sehingga akan timbul gaya gerak listrik (GGL) (Gabriel, 2001).

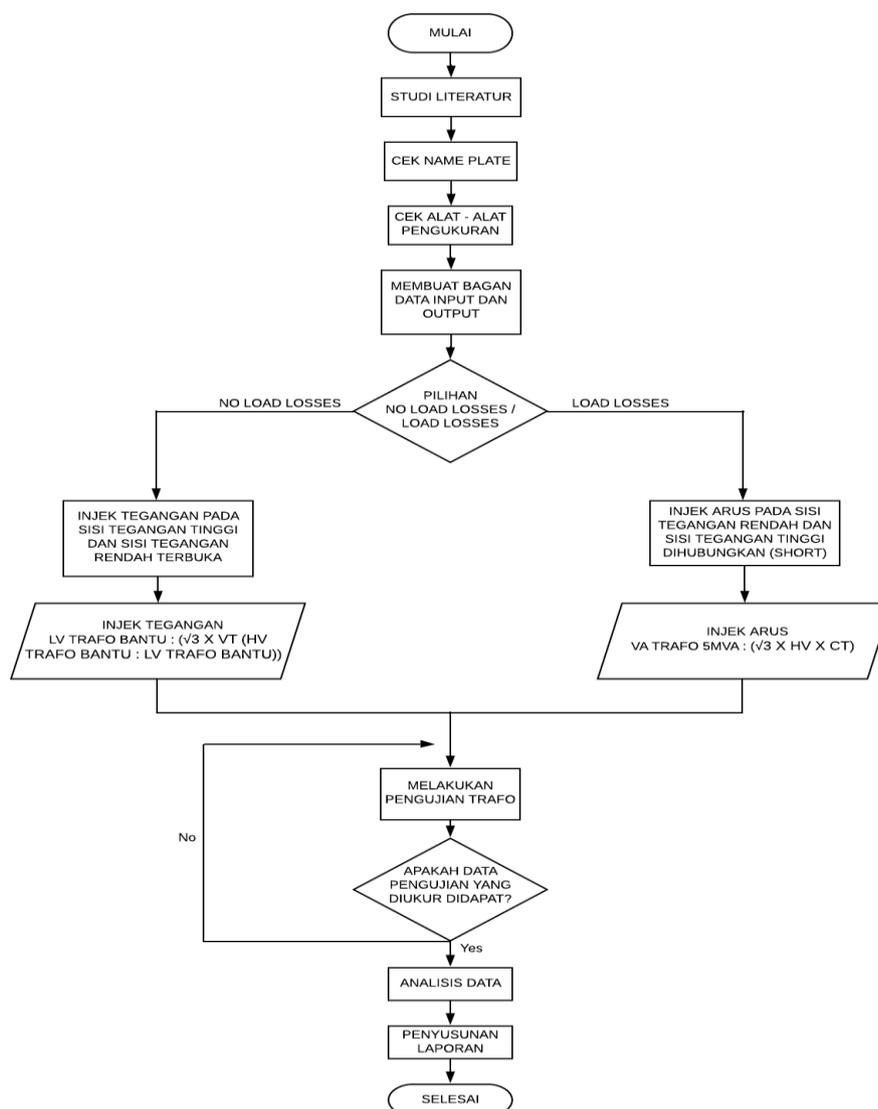
Dengan adanya gaya gerak listrik yang mengalir ke inti besi secara terus menerus maka lempengan – lempengan besi yang terisolasi dapat menimbulkan panas. Salah satu pengujiannya adalah dengan memberikan tegangan pada transformator dalam keadaan terbuka untuk mengetahui rugi – rugi inti yang didapat pada inti besi, sedangkan rugi berbeban terjadi akibat tahanan pada rangkaian dialiri arus beban karena rugi ini terjadi pada belitan transformator yang terbuat dari tembaga maka rugi berbeban disebut rugi tembaga.

Dalam laporan penelitian ini, menganalisis karakteristik rugi – rugi tanpa beban (No Load Losses) dan rugi – rugi berbeban (Load Losses) dengan mengacu pada data yang diperoleh dari pabrik PT.Trafoindo Prima Perkasa yang sesuai dengan standard IEC.

## 2. METODOLOGI

### 2.1 DIAGRAM ALIR

Gambar 1 menjelaskan mengenai penyusunan pembuatan laporan. Penelitian berupa studi literature yang berhubungan dengan analisa rugi – rugi transformator. Mengambil dan mengolah data berdasarkan parameter yang diperlukan. Untuk objek penelitian diambil dari spesifikasi transformator. Selanjutnya pembuatan bagan data input dan output rugi – rugi tanpa beban dan rugi – rugi berbeban. Rugi – rugi tanpa beban dilakukan dengan menginjeksi tegangan pada sisi tegangan tinggi akan menghasilkan arus beban nol karena pada sisi tegangan rendah dibiarkan terbuka, pengujian rugi – rugi tanpa beban untuk mengetahui rugi – rugi inti besi dan rugi – rugi berbeban dengan menginjeksi arus pada sisi tegangan tinggi dan pada sisi tegangan rendah dihubungkan (short) satu sama lain, pengujian rugi – rugi berbeban untuk mengetahui rugi – rugi tembaga. Data sudah didapat maka dilakukan perhitungan rugi – rugi tanpa beban dan rugi – rugi berbeban dan analisa.



**Gambar 1.** Diagram Alir Penelitian

## 2.2 DATA PENELITIAN

Berikut adalah Tabel 1 spesifikasi transformator yang diuji yaitu transformator 5 MVA.

Tabel 1. Spesifikasi Transformator 5 MVA

Fasa	3
Frekuensi	50 Hz
Kapasitas	5000 kVA
Tegangan (HV)	20000 V
Tegangan (LV)	6300 V
Arus (HV)	144,34 A
Arus (LV)	458,21 A
Impedansi Short Circuit	7,0 %
Isolasi Kelas	A
V <sub>m</sub> /LI/AC (HV)	24/125/50 kV
V <sub>m</sub> /LI/AC (LV)	7,2/60/20 kV
Tahun Pembuatan	2020

Analisis Rugi-Rugi Transformator Distribusi 5MVA 20KV/6,3KV

Standard	IEC – 60076
Tipe Pendingin	ONAN
Vector Group	Ynd – 5
Tipe Kumparan	Cu – Cu
Temp. Minyak/Kumparan	60/65 °C
Berat Minyak	3420 Kg
Total Berat Transformator	12250 Kg
Berat Tangki	5500 Kg

Tabel 2 menunjukkan spesifikasi transformator bantu. Transformator yang diteliti adalah transformator 5 MVA, tegangan masukan pada trafo 5 MVA adalah 20000 volt sehingga dibutuhkan trafo bantu dengan output tegangan 20000 volt.

Tabel 2. Spesifikasi transformator bantu

Fasa	3
Frekuensi	50 Hz
Kapasitas	630 kVA
Tegangan (HV)	20000 V
Tegangan (LV)	400 V
Arus (HV)	18,19 A
Arus (LV)	909,33 A
Impedansi Short Circuit	4,0 %
Isolasi Kelas	A
Tahun Pembuatan	2019
Standard	IEC – 60076
Tipe Pendingin	ONAN
Vector Group	Dyn – 5
Tipe Kumparan	Cu – Cu
Temp. Minyak/Kumparan	60/65 °C
Berat Minyak	460 Kg
Total Berat Transformator	1930 Kg

### 2.3 STANDARD PENGUKURAN

Standar yang digunakan yaitu standar IEC 60076 untuk transformator daya dan transformator distribusi. Standar Internasional ini memberikan toleransi rugi – rugi tanpa beban dan rugi – rugi berbeban (IEC 60076, 2000). Tabel 3 menjelaskan mengenai standard IEC 60076.

Item	Toleransi
1. a) Total Losses b) komponen losses	+ 10 % dari total kerugian + 15 % setiap komponen yang hilang, asalkan toleransi untuk kerugian total tidak terlampaui
2. Rasio tegangan tanpa beban pada sadapan utama untuk pasangan belitan pertama yang ditentukan  Rasio tegangan pada sadapan lain, pasangan yang sama  Rasio tegangan untuk pasangan selanjutnya	Yang lebih rendah dari nilai berikut : a) $\pm 0,5$ % rasio yang dinyatakan b) $\pm 1/10$ dari persentase impedansi actual pada penyadapan principal Untuk disepakati, tetapi tidak kurang dari nilai yang lebih rendah pada a) dan b) diatas  Untuk disepakati, tetapi tidak kurang dari nilai yang lebih rendah pada a) dan b) diatas
3. Impedansi hubung singkat untuk : - Transformator belitan terpisah dengan dua belitan, atau - Sepasang belitan terpisah pertama yang ditentukan dalam transformator multi belitan a) penyadapan utama  b) penyedapan pasangan lainnya	Ketika nilai impedansinya dari nilai yang dinyatakan $\geq 10$ % $\pm 7,5$ % dari nilai yang dinyatakan Ketika nilai impedansinya dari nilai yang dinyatakan $< 10$ % $\pm 10$ % dari nilai yang dinyatakan Ketika nilai impedansinya dari nilai yang dinyatakan $\geq 10$ % $\pm 10$ % dari nilai yang dinyatakan Ketika nilai impedansinya dari nilai yang dinyatakan $< 10$ % $\pm 15$ % dari nilai yang dinyatakan
4. Impedansi hubung singkat untuk : - Sepasang belitan yang terhubung otomatis, atau - Sepasang belitan terpisah kedua yang ditentukan dalam transformator multi belitan a) Penyadapan utama  b) Penyadapan pasangan lainnya  - pasangan belitan selanjutnya	$\pm 10$ % dari nilai yang dinyatakan  $\pm 15$ % dari nilai yang dinyatakan dari penyadapan itu Untuk disepakati, tapi $\geq 15$ %
5. Rugi – rugi tanpa beban	$\pm 30$ % dari nilai yang dinyatakan

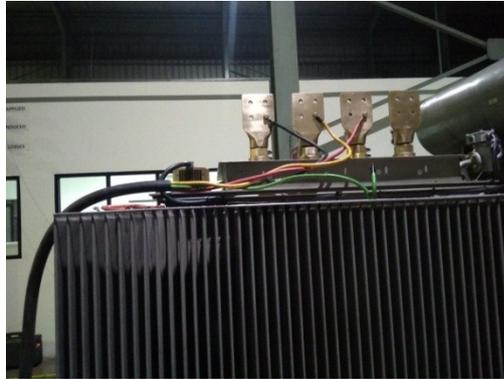
### 2.4 METODE PENGUKURAN

Gambar 1 menunjukkan pengujian rugi – rugi tanpa beban dengan menginjeksi tegangan pada sisi tegangan tinggi akan menghasilkan arus beban nol karena pada sisi tegangan rendah dibiarkan terbuka. Dengan memberikan tegangan eksitasi pada transformator yang diuji akan menghasilkan arus beban nol yang mengalir pada kumparan transformator. Arus beban nol ini kemudian dikecilkan terlebih dahulu dengan Current Transformator (CT) yang

## Analisis Rugi-Rugi Transformator Distribusi 5MVA 20KV/6,3KV

dihubungkan dengan panel tes karakteristik agar dapat terbaca pada ampere meter yang terpasang pada panel karakteristik (Harlow, 2007).

### 1. Rugi – rugi Tanpa Beban



Gambar 1. Pengujian no load losses

Perhitungan tegangan suplai :

$$\text{Tegangan suplai} = (\text{LV trafo 5 MVA}) / (\sqrt{3} \times \text{VT} \times (\text{HV trafo bantu : LV trafo bantu}))$$

$$= 6300 / (\sqrt{3} \times 20 \times (20000 : 400))$$

$$= 3,637306696 \text{ V}$$

$$\text{Rasio CT} = 200/5 = 40 \text{ x}$$

$$\text{Rasio VT} = 2000/100 = 20 \text{ x}$$

### 2. Rugi – rugi Berbeban



Gambar 2. Pengujian load losses

Gambar 2 menunjukkan pengujian rugi – rugi berbeban dengan menginjeksi arus pada sisi tegangan rendah dan pada sisi tegangan tinggi

dihubungkan (short) satu sama lain. Dengan memberikan arus eksitasi pada transformator yang diuji akan menghasilkan tegangan impedansi yang mengalir pada kumparan transformator. Tegangan impedansi ini kemudian dikalikan terlebih dahulu dengan Voltage Transformator (VT) yang dihubungkan dengan panel tes karakteristik agar dapat terbaca pada voltmeter yang terpasang pada panel karakteristik.

Perhitungan arus suplai :

$$\begin{aligned} \text{Tegangan arus} &= (VA \text{ trafo } 5 \text{ MVA})/(\sqrt{3} \times HV \times CT) \\ &= 5000000/(\sqrt{3} \times 20000 \times 80) \\ &= 1,804219591 \text{ A} \\ \text{Rasio CT} &= 200/5 = 80 \times \\ \text{Rasio VT} &= 2000/100 = 20 \times \end{aligned}$$

### 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

#### 1. Rugi – rugi Tanpa Beban

Tabel 4 hingga 6 adalah hasil dari pengujian rugi – rugi tanpa beban, pada pengujian rugi – rugi tanpa beban yang diinjek adalah tegangan suplai dan pada sisi LV dibiarkan terbuka dan pada pengujian rugi – rugi tanpa beban dibantu menggunakan transformator bantu agar tegangan yang masuk pada transformator 5MVA sesuai dengan input tegangannya yaitu 20000 Volt.

Tabel 4. Rugi – Rugi Tanpa Beban

Arus Beban Nol		Rugi – rugi Tanpa Beban	
Suplai Tegangan	$6300/\sqrt{3}$	Faktor Meter	
$\Sigma$ X CT	120,4	CT	$400/5 = 40$ x
		PT	$2000/100 = 20$ x
Io %	0,26 %	FM	800   6224 W

Tabel 5. Alat Ukur Trafo 5MVA + Trafo Bantu

Alat Ukur Trafo 5MVA + trafo bantu				
	1	2	3	$\Sigma$
V	3,993	3,235	3,692	3,640
A	2,8472	3,0247	3,1579	3,0100
W	1,367	3,670	2,744	7,78
Pf	0,1202	0,3750	0,2354	0,2371

Tabel 6. Trafo Bantu

Analisis Rugi-Rugi Transformator Distribusi 5MVA 20KV/6,3KV

Alat Ukur Trafo Bantu				
	1	2	3	$\Sigma$
V	3,693	3,392	3,848	3,644
A	0,01442	0,01487	0,01419	0,01449
W	0,0515	0,0486	0,0525	0,153
Pf	0,9662	0,9628	0,9614	0,9634

Setelah didapat hasil pengukuran maka dicari berapa besar rugi besi yang dihasilkan dari pengujian tanpa beban dan berapa besar nilai persentasi arus beban nol. Dapat dihitung sebagai berikut :

- Nilai rugi besi (Pfe)

$$\text{Rugi besi yang tertera pada alat ukur} = 7,78 \text{ W}$$

Rugi besi (Wfe) yang sebenarnya :

$$\begin{aligned} \text{Wfe} &= \text{Pfe terukur} \times (\text{VT} \times \text{CT}) \\ &= \text{Pfe terukur} \times \text{FM} \\ &= 7,78 \times 800 \\ &= 6224 \text{ W} \end{aligned}$$

- Nilai arus beban nol ( $I_0$ ) :

$$I_0 \text{ yang terukur } (\Sigma) = 3,010$$

Nilai  $I_0$  yang sebenarnya :

$$\begin{aligned} I_0 &= \Sigma i \times \text{rasio CT} \\ &= 3,010 \times 40 \\ &= 120,4 \text{ A} \end{aligned}$$

Mencari persentase nilai arus beban nol (% $I_0$ ) :

$$\begin{aligned} \%I_0 &= (I_0 \times \sqrt{3}) / ((\text{kVA trafo 5 MVA}) / (\text{LV trafo 5 MVA (kV)})) \times 100\% \\ \%I_0 &= (120,4 \times \sqrt{3}) / (5000 / 6,3) \times 100\% \\ &= 0,26\% \end{aligned}$$

Tabel 7. Hasil perhitungan dan test uji rugi inti besi pada transformator distribusi 5MVA 20/6,3 kV

	Test Uji Rugi – rugi Tanpa Beban	Standard IEC 60076 : 2000	Keterangan
Rugi inti besi ( $W_{re}$ )	6224 Watt	4632,5- 6267,50 Watt	Memenuhi batas standard IEC 60076 : 2000
$I_0\%$	0,26 %	-	-

Tabel 7 menunjukkan nilai rugi inti besi yang dihasilkan dari pengujian rugi – rugi tanpa beban sesuai dengan standard IEC 60076 : 2000.

2. Rugi – rugi Berbeban

Tabel 8 hingga 9 adalah hasil dari pengujian rugi – rugi berbeban, pada pengujian rugi – rugi berbeban yang diinjek adalah arus suplai pada sisi HV dan pada sisi LV dihubungkan dengan pentanahan.

Tabel 8. Rugi – rugi Berbeban

Tegangan Impedansi		Rugi – rugi berbeban		
Nilai Tegangan	20/6,3 kV	Faktor Meter		
$\Sigma$ X PT	945,34	CT	400/5 = 80	x
		PT	2000/100 = 20	
Vz %	8, 19 %	FM	1600	37712W

Tabel 9. Alat Ukur Trafo 5MVA + Trafo Bantu

Alat Ukur Trafo 5MVA + trafo bantu				
	1	2	3	$\Sigma$
V	47,545	46,417	47,838	47,267
A	1,7972	1,6730	1,7100	1,7267
W	4,75	6,71	12,11	23,57
Pf	0,0556	0,0865	0,1480	0,0962

Setelah didapat hasil pengukuran maka dicari berapa besar rugi tembaga yang dihasilkan dari pengujian berbeban dan berapa besar nilai persentasi tegangan impedansi. Dapat dihitung sebagai berikut :

- Nilai rugi tembaga (Pcu)

Rugi tembaga yang tertera pada alat ukur = 23,57 W

Rugi tembaga (Wcu) yang sebenarnya :

$$W_{cu} = P_{cu} \text{ terukur} \times (V_T \times C_T)$$

## Analisis Rugi-Rugi Transformator Distribusi 5MVA 20KV/6,3KV

$$= P_{cu} \text{ terukur} \times FM$$

$$= 23,57 \times 1600$$

$$= 37712 \text{ Watt}$$

- Nilai tegangan impedansi ( $V_z$ )

$$V_z \text{ yang terukur } (\Sigma) = 47,267$$

Nilai  $V_z$  yang sebenarnya :

$$V_z = \Sigma v \times \text{rasio VT}$$

$$= 47,267 \times 20 = 945,34 \text{ V}$$

Mencari persentase nilai tegangan impedansi ( $\%V_z$ ) :

$$\%V_z = (V_z \times \sqrt{3}) / (\text{HV trafo } 5 \text{ MVA}) \times 100 \%$$

$$\%V_z = (945,34 \times \sqrt{3}) / 20000 \times 100 \%$$

$$= 8,19 \%$$

$$\text{Konversi faktor } (k) = (235 + 75^\circ\text{C}) / (235 + 30^\circ\text{C}) = 1,16981321$$

- A. Total rugi – rugi belitan pada suhu  $30^\circ\text{C}$   
 $= 18246,45 \text{ Watt} + 15828,61 \text{ Watt} = 34075,06 \text{ Watt}$
- B. Total rugi – rugi belitan pada suhu  $75^\circ\text{C}$   
 $= 20946,54 \text{ Watt} + 18241,41 \text{ Watt} = 39187,95 \text{ Watt}$
- C. Alat ukur wattmeter pada rugi – rugi berbeban = 37712 Watt
- D. Kehilangan beban nyasar pada suhu  $30^\circ\text{C}$   
 $= \text{Nilai C} - \text{Nilai A}$   
 $= 37712 - 34075,06 = 3636,94 \text{ Watt}$
- E. Kehilangan beban nyasar pada suhu  $75^\circ\text{C}$   
 $= \text{Nilai D} : \text{konversi faktor } (k)$   
 $= 3636,94 : 1,16981321 = 3108,99 \text{ Watt}$
- F. Rugi – rugi berbeban pada suhu  $75^\circ\text{C}$   
 $= \text{Nilai B} + \text{Nilai E}$   
 $= 39187,95 \text{ Watt} + 3108,99 \text{ Watt} = 42296,94 \text{ Watt}$

Total Rugi – rugi

$$\text{Rugi – rugi tanpa beban} + \text{rugi – rugi berbeban} = 6224 \text{ Watt} + 42296,94 \text{ Watt} = 48520,94 \text{ Watt}$$

Tabel 10. Hasil perhitungan dan test uji rugi tembaga pada transformator distribusi 5MVA 20/6,3 kV

	Test Uji Rugi – rugi Berbeban	Standard IEC 60076 : 2000	Keterangan
Rugi inti besi ( $W_{cu}$ )	42296,94 Watt	38675-52325 Watt	Memenuhi batas standard IEC 60076 : 2000
$V_z\%$	8,19 %	-	-

Perhitungan total rugi – rugi transformator distribusi 5 MVA 20kV/6,3kV diperoleh nilai 48520,94 W. Nilai tersebut masih termasuk standard IEC 60076 : 2000 untuk transformator distribusi 5MVA yang memiliki nilai standard sebesar 50950 W dengan toleransi  $\pm 10\%$  sehingga transformator 5MVA 20kV/6,3kV dapat disalurkan kepada konsumen untuk digunakan sesuai dengan kebutuhan dari konsumen.

#### 4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisa dan pembahasan maka dapat diambil kesimpulan bahwa pada pengetesan rugi – rugi tanpa beban didapat hasil rugi – rugi tanpa beban sebesar 6224 Watt dan persentase arus beban ( $I_o\%$ ) didapat 0,26%, nilai rugi – rugi tanpa beban tersebut masih memasuki nilai standard IEC 60076 : 2000 yang berada pada nilai 4632,5 - 6267,50 Watt dan pada pengetesan Rugi – rugi berbeban didapat hasil rugi – rugi berbeban sebesar 42296,94 Watt dan persentase tegangan impedansi ( $V_z\%$ ) didapat 8,19%, nilai rugi – rugi berbeban tersebut masih memasuki nilai standard IEC 60076 : 2000 yang berada pada nilai 38675 - 52325 Watt. Berdasarkan hasil perhitungan terhadap suhu dapat diambil kesimpulan bahwa semakin besar suhu maka akan semakin besar rugi – rugi yang diperoleh dari transformator yang diuji.

#### 5. UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada PT. Trafoindo Prima Perkasa yang telah memberikan kesempatan untuk memperoleh sampel data.

#### DAFTAR PUSTAKA

Gabriel, J. F. 2001. Fisika Lingkungan. Jakarta: Hipokrates.

Harlow, James H., H. Jin Sim., Scott H. Digby., Shirish P. Metha and William R. (2007). Electric Power Transformer Engineering, Second Edition. United States Of America: CRC Press (Taylor and Francis Group).

IEC 60076. Power Transformers. 2000.