

# ANALISIS KETIDAKSEIMBANGAN BEBAN DAN HARMONISA PADA TRANSFORMATOR DISTRIBUSI MI 0096 PENYULANG ABIANBASE

I Wayan Yoga Prasetya<sup>1</sup>, I Nyoman Setiawan<sup>2</sup>, I Gede Dyana Arjana<sup>3</sup>  
<sup>1,2,3</sup> Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Udayana  
Email : [yogajprasetya@yahoo.com](mailto:yogajprasetya@yahoo.com)<sup>1</sup>, [setiawan@unud.ac.id](mailto:setiawan@unud.ac.id)<sup>2</sup>  
, [dyanaarjana@ee.unud.ac.id](mailto:dyanaarjana@ee.unud.ac.id)<sup>3</sup>

## Abstrak

Transformator Distribusi MI 0096 adalah salah satu transformator yang disuplai oleh Penyulang Abianbase. Transformator distribusi MI 0096 memiliki kapasitas 100 kVA dengan beban pada siang hari sebesar 48,5 kVA dan beban pada malam hari sebesar 50,81 kVA. Tidak meratanya beban – beban satu fasa pada transformator MI 0096 mengakibatkan adanya ketidakseimbangan beban pada transformator dan penggunaan beban – beban yang bersifat non linier mengakibatkan munculnya distorsi harmonisa pada transformator MI 0096. Dalam penelitian ini, dilakukan perbandingan ketidakseimbangan beban dan harmonisa yang terjadi pada siang hari dan malam hari.

Hasil analisis didapatkan bahwa persentase ketidakseimbangan beban pada Transformator Distribusi MI 0096 tergolong dalam kondisi buruk yaitu melebihi 25% dengan persentase ketidakseimbangan beban pada siang hari sebesar 28,74% dan pada malam hari 30,28%. THDv pada Transformator MI 0096 dalam batas yang diijinkan yaitu di bawah 5 % dengan THDv pada pada siang hari 1,7% dan malam hari 1,9%. THDi pada Transformator Distribusi MI 0096 melebihi standar yang diijinkan yaitu melebihi 8%, dengan THDi pada siang hari 17,5% dan pada malam hari 24%. Rugi - rugi yang diakibatkan oleh adanya THDi pada transformator MI 0096 mengalami peningkatan seiring dengan meningkatnya THDi pada transformator. Rugi - rugi tanpa terpengaruh THDi yaitu 0,5 kW, sedangkan rugi – rugi total setelah terpengaruh THDi yaitu 5,79 kW pada siang hari dan 11,01 kW pada malam hari.

**Kata kunci** : Transformator Distribusi, Ketidakseimbangan Beban, Harmonisa.

## Abstract

*MI 0096 Distribution Transformer is one of the transformers supplied by Abianbase Feeders. The MI 0096 distribution transformer has a capacity of 100 kVA with a daytime load of 48,5 kVA and a nighttime load of 50,81 kVA. Unequal single-load loads on the transformer result in unbalanced loads on the transformer MI 0096 and the use of non-linear loads results in harmonic distortion on the transformer MI 0096. In this study, carried out a comparison of load imbalance and harmonics that occur during the day and night.*

*The results of the analysis found that the percentage of load imbalance in the MI 0096 Distribution Transformer is classified in poor condition that exceeds 25% with the percentage of load imbalances during the daytime at 28,74% and at noon 30,28%. THDv on the MI 0096 Transformer is within the allowable limit of below 5% with THDv at 1,7% during the day and 1,9% at night. THDi in the MI 0096 Distribution Transformer exceeds the allowable standard which exceeds 8%, with THDi during the day 17,5% and at night 24%. Losses caused by the THDi in the MI 0096 transformer have increased along with the increase in THDi in the transformer. Losses without THDi are 0,5 kW, while total losses after being affected by THDi are 5,79 kW during the day and 11,01 kW at night.*

**Keywords** : Distribution Transformer, Load Imbalance, Harmonics.

## 1. PENDAHULUAN

Salah satu kebutuhan primer manusia pada saat ini adalah energi listrik, dengan meningkatnya kebutuhan energi listrik yang digunakan manusia, maka penyedia energi listrik juga harus memperhatikan peralatan – peralatan sistem penyaluran energi listrik kepada konsumen atau pelanggannya.

Salah satu peralatan yang digunakan adalah transformator distribusi. Merupakan peralatan sistem tenaga listrik yang berfungsi untuk mendistribusikan energi listrik dengan menurunkan tegangan dari tegangan menengah 20 kV ke tegangan rendah 380/220 V. Salah satu contoh gangguan atau masalah pada transformator

adalah ketidakseimbangan dan harmonisa. Ketidakseimbangan beban disebabkan karena tidak meratanya (beban satu fasa tidak sama besar) beban – beban satu fasa pada transformator. Penggunaan beban bersifat non linier yang berbasis elektronika menyebabkan adanya harmonisa pada sistem ketenagalistrikan. Peralatan tersebut banyak menggunakan komponen semikonduktor. Adanya kandungan harmonisa pada sistem tenaga listrik mempengaruhi bentuk gelombang tegangan maupun arus yang awalnya sinusoidal murni menjadi gelombang terdistorsi

Berdasarkan hal tersebut, maka dalam penelitian ini membahas tentang analisis ketidakseimbangan beban dan harmonisa pada Transformator Distribusi MI 0096 pada Penyulang Abianbase dengan membandingkan keadaan ketidakseimbangan beban dan harmonisa pada siang hari dengan malam hari.

**2. KAJIAN PUSTAKA**

**2.1 Sistem Distribusi Tenaga Listrik**

Distribusi tenaga listrik berfungsi untuk menyalurkan tenaga listrik ke konsumen atau pelanggan sesuai dengan kebutuhan konsumen atau pelanggan tersebut. Terdiri dari sistem distribusi primer (20kV) atau JTM (Jaringan Tegangan Menengah) dan sistem distribusi sekunder (380/220V) atau JTR (Jaringan Tegangan Rendah).

**2.2 Gardu Distribusi**

Merupakan suatu bangunan gardu listrik yang terdiri dari berbagai peralatan listrik dan komponen instalasi seperti Peralatan Hubung Bagi Tegangan Menengah, Transformator Distribusi, Peralatan Hubung Bagi Tegangan Rendah yang digunakan untuk memenuhi kebutuhan konsumen atau pelanggan, baik pelanggan tegangan menengah (TM 20kV) maupun tegangan rendah (TR 220/380V). [1]

**2.3 Pembebanan Transformator**

Pembebanan pada suatu transformator dengan beban nominalnya akan membuat transformator dapat bekerja dengan maksimal. Jika beban yang dilayani suatu transformator hampir mendekati 100% atau melebihi 100% dalam jangka waktu yang cukup lama, maka pada

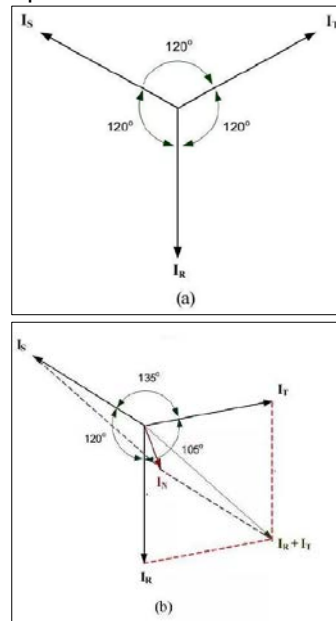
transformator tersebut akan terjadi pemanasan lebih yang dapat menimbulkan rugi-rugi daya dan dapat memperpendek umur isolasi dari transformator tersebut serta dapat mempengaruhi kualitas daya listrik dan keandalan dalam penyaluran tenaga listrik. [2].

Persentase pembebanan transformator dapat dihitung dengan persamaan : [2]

$$\% \text{Pemebebanan} = \frac{I \text{ Rata-rata}}{IFL} \times 100 \% \dots (1)$$

**2.4 Ketidakseimbangan Beban Pada Transformator**

Beban – beban satu fasa pelanggan jaringan tegangan rendah yang tidak merata / tidak sama besar menyebabkan terjadinya ketidakseimbangan beban pada suatu transformator distribusi. Ketidakseimbangan beban menyebabkan munculnya arus pada netral dan menyebabkan adanya rugi – rugi yang disebabkan karena adanya arus netral yang mengalir pada netral transformator. [3].



**Gambar 1.** Vektor Diagram Arus (a) Seimbang dan (b) Tak Seimbang

**2.4.1 Persentase Ketidakseimbangan Beban pada Transformator**

Untuk Menentukan Besaran ketidakseimbangan Beban pada transformator digunakan persamaan [3]:

$$\% \text{Ketidakseimbangan beban} = \frac{\{|a-1|+|b-1|+|c-1|\}}{3} \dots (2)$$

$$I_{\text{Rata-rata}} = \frac{IR+IS+IT}{3} \dots (3)$$

$$I_R = a \cdot I_{\text{Rata-rata}}, \text{ maka : } a = \frac{IR}{I_{\text{Rata-rata}}}$$

$$I_S = b \cdot I_{Rata-rata}, \text{ maka : } b = \frac{IS}{I_{Rata-rata}}$$

$$I_T = c \cdot I_{Rata-rata}, \text{ maka : } c = \frac{IT}{I_{Rata-rata}}$$

**2.4.2 Rugi – Rugi Pada Penghantar Netral**

Rugi – rugi pada penghantar netral disebabkan karena adanya arus yang mengalir pada penghantar netral transformator akibat adanya ketidakseimbangan beban pada transformator.

Persamaan untuk mencari besarnya rugi-rugi pada penghantar netral trafo. [4]

$$P_N = I_N^2 \times R_N \dots \dots \dots (4)$$

**2.5 Total Harmonic Distortion**

Komponen harmonisa dari bentuk gelombang yang terdistorsi memiliki ukuran nilai efektif biasa disebut dengan Total Harmonic Distortion / THD. Indeks ini bisa ditentukan untuk tegangan dan arus [5]. Total Harmonic Distortion (THD) digunakan untuk menyatakan besarnya distorsi harmonisa pada suatu sistem tenaga listrik.

**2.6 Standar IEEE 519 – 2014**

Standar IEEE 519-2014 merupakan pembaharuan dari standar IEEE 519-1992. Standar IEEE 519-2014 berisikan tentang batasan-batasan kandungan harmonisa yang terdapat dalam sistem tenaga listrik, baik itu harmonisa tegangan ataupun harmonisa arus. [6].

**2.6.1 Standar THD Tegangan (THDv)**

Berdasarkan standar IEEE 519-2014, dapat dilihat standar untuk THD tegangan (THDv) pada tabel 1 [6].

**Tabel 1.** Voltage Distortion Limit [6]

Bus Voltage (V) at PCC	Individual Harmonic (%)	Total Harmonic Distortion (%)
V ≤ 1 kV	5,0	8,0
1 kV < V < 69 kV	3,0	5,0
69 kV < V < 161 kV	1,5	2,5
161 kV < V	1,0	1,5 <sup>a</sup>

**2.6.2 Standar THD Arus (THDi)**

Berdasarkan standar IEEE 519-2014 untuk THDi nilai batas yang digunakan sebagai standar disesuaikan dengan short circuit ratio (rasio hubung singkat) dan dapat dilihat pada tabel 2 [6].

**Tabel 2.** Current Distortion Limits for Systems Rated 120 V through 69 kV [6]

Maximum Harmonic Current Distortion in Percent of I <sub>L</sub>						
Individual Harmonic Order (odd harmonic) <sup>a,b</sup>						
I <sub>sc</sub> / I <sub>L</sub>	3 ≤ h ≤ 11	11 ≤ h ≤ 17	17 ≤ h ≤ 23	23 ≤ h ≤ 35	35 ≤ h ≤ 50	THD (%)
<20 <sup>c</sup>	4,0	2,0	1,5	0,6	0,3	5,0
20 < 50	7,0	3,5	2,5	1,0	0,5	8,0
50 < 100	10,0	4,5	4,0	1,5	0,7	12,0
100 < 1000	12,0	5,5	5,0	2,0	1,0	15,0
>1000	15,0	7,0	6,0	2,5	1,4	20,0

**2.7 Short Circuit Ratio**

Short Circuit Ratio (SC<sub>ratio</sub>) merupakan hasil bagi antara arus short circuit (I<sub>sc</sub>) dan arus beban (I<sub>L</sub>). Adapun persamaan dari SC<sub>ratio</sub> adalah sebagai berikut [7]

$$SC_{Ratio} = \frac{I_{sc}}{I_L} \dots \dots \dots (5)$$

Arus short circuit (I<sub>sc</sub>) dapat ditentukan dengan persamaan berikut.

$$I_{sc} = \frac{kVA \times 100}{\sqrt{3} \times KV \times Z} \dots \dots \dots (6)$$

Arus beban (I<sub>L</sub>) dapat ditentukan dengan persamaan :

$$I_L = \frac{KW}{PF \sqrt{3} KV} \dots \dots \dots (7)$$

**2.8 Rugi – Rugi Daya Pada Transformator Akibat Harmonisa**

Adanya harmonisa akan meningkatkan rugi-rugi daya pada

transformator. Rugi-rugi daya pada suatu transformator dapat disebut dengan load loss (P<sub>LL</sub>). Dalam

satuan per unit (p.u), load loss (P<sub>LL</sub>) dapat dihitung dengan persamaan berikut [4].

$$P_{LL} = \sum I_h^2 + (\sum I_h^2 \times h^2) \times P_{EC-R} (p.u) \dots (8)$$

Untuk faktor eddy current loss (PEC-R) dapat dilihat pada tabel 3 [4].

**Tabel 3.** Typical Values Of P<sub>EC-R</sub> [4]

Type	MVA	Voltage	P <sub>EC-R</sub> (%)
Dry	≤1	-	3-8
	≤1,5	5kV (High Voltage)	12-20
	≤1,5	15kV (High Voltage)	9-15
Oil-filled	≤2,5	480V (Low Voltage)	1
	2,5-5	480V (Low Voltage)	1-5
	>5	480V (Low Voltage)	9-15

**3. METODE PENELITIAN**

Penelitian di lakukan terhadap transformator distribusi MI 0096 di Penyulang Abianbase dengan melakukan metode pengukuran langsung menggunakan tang ampere, perhitungan, dan simulasi menggunakan program ETAP Powerstation 12.6. Pengambilan data dilakukan pada 2 Agustus 2019 dengan melakukan pengukuran pada siang hari pukul 12.30 WITA dan malam hari pukul 21.00 WITA. Adapun alur analisis pada penelitian ini adalah :

1. Mengumpulkan data arus, tegangan, harmonisa arus dan tegangan (THDi & THDv) pada transformator distribusi MI 0096 (siang hari dan malam hari).
2. Menghitung persentase pembebanan transformator MI 0096.
3. Menghitung persentase ketidakseimbangan beban transformator MI 0096 dan membandingkan dengan standar.
4. Menghitung rugi - rugi pada penghantar netral transformator MI 0096.
5. Membandingkan hasil pengukuran THDv Transformator MI 0096 dengan standar.
6. Membandingkan hasil pengukuran THDi Transformator MI 0096 dengan standar.
7. Analisa rugi - rugi total pada transformator MI 0096 akibat terpengaruh THDi.

#### 4. HASIL DAN PEMBAHASAN

##### 4.1 Data

Transformator MI 0096 adalah transformator distribusi dengan kapasitas 100 kVA yang disuplai oleh Penyulang Abianbase.

**Tabel 4.** Data Hasil Pengukuran Transformator pada Siang Hari

	Tegangan	Arus	THDv	THDi
Fase R	232V	95A	1,9%	22,8%
Fasa S	233V	40A	1,7%	16,9%
Fasa T	235V	75A	1,7%	12,8%

**Tabel 5.** Data Hasil Pengukuran Transformator pada Malam Hari

	Tegangan	Arus	THDv	THDi
Fase R	232V	97A	1,9%	23%
Fasa S	233V	41A	2%	30%
Fasa T	236V	82A	1,8%	19%

##### 4.2 Perhitungan Persentase Pembebanan Transformator

Persentase pembebanan transformator dapat dihitung dengan persamaan (1).

A. Beban Siang Hari

$$\frac{70}{144,34} \times 100\% = 48,49\%$$

B. Beban Malam Hari

$$\frac{73,3}{144,34} \times 100\% = 50,80\%$$

Persentase pembebanan transformator MI 0096 mengalami kenaikan pembebanan sebesar 2,31% dari beban siang hari ke beban malam hari.

##### 4.3 Perhitungan Persentase Ketiakseimbangan Beban

Persentase ketidakseimbangan beban pada transformator dapat dihitung dengan persamaan (2).

A. Beban Siang Hari

$$I_R = a \cdot I$$

$$\text{maka : } a = \frac{IR}{I_{rata-rata}} = \frac{95}{70} = 1,35$$

$$I_S = b \cdot I$$

$$\text{maka : } b = \frac{IS}{I_{ratar-ata}} = \frac{40}{70} = 0,57$$

$$I_T = c \cdot I$$

$$\text{maka : } c = \frac{IT}{I_{rata-rata}} = \frac{75}{70} = 1,07$$

Dalam persentase :

$$= \frac{\{|a-1|+|b-1|+|c-1|\}}{3} \times 100\%$$

$$= \frac{\{|1,32-1|+|0,57-1|+|1,07-1|\}}{3} \times 100\%$$

$$= 28,74 \%$$

B. Beban Malam Hari

$$I_R = a \cdot I$$

$$\text{maka : } a = \frac{IR}{I_{rata-rata}} = \frac{97}{73,3} = 1,32$$

$$I_S = b \cdot I$$

$$\text{maka : } b = \frac{IS}{I_{rata-rata}} = \frac{97}{73,3} = 0,55$$

$$I_T = c \cdot I$$

$$\text{maka : } c = \frac{IT}{I_{rata-rata}} = \frac{97}{73,3} = 1,11$$

Dalam persentase :

$$= \frac{\{|a-1|+|b-1|+|c-1|\}}{3} \times 100\%$$

$$= \frac{\{|1,32-1|+|0,55-1|+|1,11-1|\}}{3} \times 100\%$$

$$= 30,28\%$$

Pada transformator MI 0096 mengalami kenaikan persentase ketidakseimbangan beban yaitu pada siang hari sebesar 28,74 % dan pada malam hari sebesar 30,28 %.

Merujuk pada Surat Edaran Direksi PT. PLN (Persero) No. 0017.E/DIR/2014 tentang Metode Pemeliharaan Trafo Distribusi Berbasis Kaidah Manajemen Aset halaman 8 bagian 6.6.2.6 Matriks online Assessment tier-1 pada trafo distribusi menetapkan acuan *Load Reading and*

Profiling Persentase ketidakseimbangan

arus antar fasa ditunjukkan oleh tabel 6. [9]

**Tabel 6.** Standar Ketidakseimbangan Arus Antar Fasa [9]

Karakteristik	Healt Index			
	Baik	Cukup	Kurang	Buruk
Ketidakseimbangan Arus Antar Fasa	< 10%	10% -< 20%	20%-<25%	>=25%

Berdasarkan tabel 6. didapatkan hasil perbandingan sebagai berikut

**Tabel 7.** Perbandingan Persentase Ketidakseimbangan Beban

Persentase Ketidakseimbangan Beban		Healt Index	
Siang Hari	Malam Hari	Siang Hari	Malam Hari
28,74%	30,28%	Buruk	Buruk

Kondisi ketidakseimbangan beban pada transformator MI 0096 berada pada kondisi buruk pada beban siang hari dan beban malam hari. Sehingga harus dilakukan pemerataan beban masing – masing phasa transformator.

**4.4 Perhitungan Rugi - Rugi Pada Penghantar Netral**

Rugi - rugi pada penghantar netral disebabkan karena adanya arus yang mengalir pada penghantar netral transformator dengan hasil pengukuran arus pada penghantar netral transformator MI 0096 yaitu 59 A pada siang hari dan 70 A pada malam hari. R (Tahanan) pada penghantar netral transformator diasumsikan 0,690 Ω. Untuk menghitung rugi - rugi pada netral transformator, digunakan persamaan (4).

A. Pada Beban Siang

$$P_N = I_N^2 \times R_N$$

$$= (59 \text{ A})^2 \times 0,690 \Omega$$

$$= 2401,89 \text{ Watt}$$

$$= 2,40 \text{ Kw}$$

B. Pada Beban Malam

$$P_N = I_N^2 \times R_N$$

$$= (70 \text{ A})^2 \times 0,690 \Omega$$

$$= 3381 \text{ Watt}$$

$$= 3,38 \text{ kW}$$

Rugi - rugi pada penghantar netral transformator MI 0096 mengalami kenaikan yaitu pada siang hari sebesar 2,40 kW dan pada malam hari sebesar 3,38 kW.

**4.5 Perbandingan Hasil Pengukuran THDv Transformator dengan Standar 519-2014.**

Pada tabel 1 dapat dilihat standar IEEE 519 – 2014 untuk kandungan THDv pada sistem ketenagalistrikan. Untuk pengoprasian tegangan diantara 1 kV hingga 69 Kv (1Kv < V < 69 KV) batas maksimum THDv sesuai standar IEEE 519-2014 yaitu 5%. Maka pada transformator distribusi MI 0096, batas maksimum THDv yang diperbolehkan menurut standar IEEE 519 – 2014 adalah 5%..

**Tabel 8.** Perbandingan Hasil Pengukuran THDv dengan Standar IEEE 519 – 2014

Trafo	Hasil Pengukuran THDv		Standar	Ket
	Siang	Malam		
MI 0096	1,7%	1,9%	5%	Sesuai

Nilai kandungan THDv pada transformator MI 0096 sudah sesuai standar IEEE 519 – 2014 yaitu di bawah 5%.

**4.7 Perbandingan Hasil Pengukuran THDi Transformator dengan Standar IEEE 519-2014.**

Batas maksimum THDi menurut standar IEEE 519 – 2014 dapat ditentukan dengan mengatahui SC<sub>ratio</sub> transformator dengan menggunakan persamaan (5). Didapatkan SC<sub>ratio</sub> transformator MI 0096 sebesar 49,61. Sehingga menurut standar IEEE 519 – 2014, nilai THDi yang diijinkan pada transformator MI 0096 adalah 8 %.

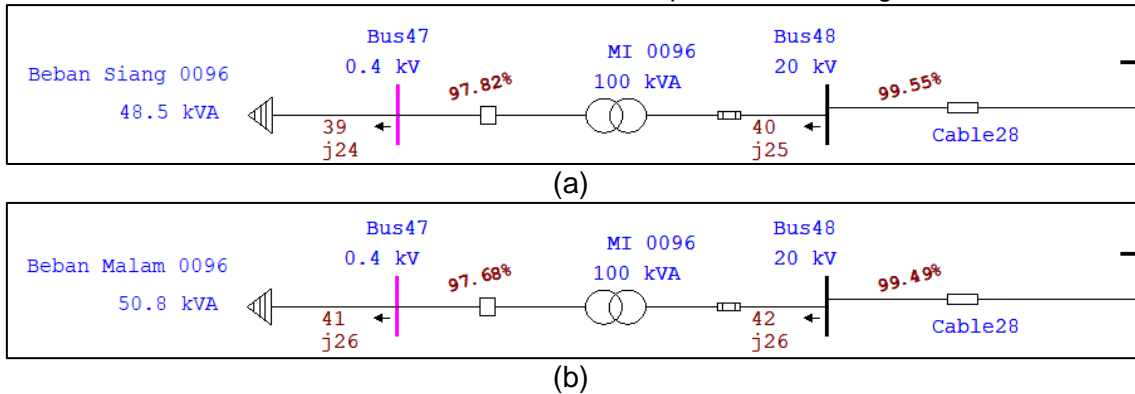
**Tabel 9.** Perbandingan Hasil Pengukuran THDi dengan Standar IEEE 519 – 2014

Trafo	Hasil Pengukuran THDi		Standar	Ket
	Siang	Malam		
MI 0096	17,5%	24%	8%	Melebihi

Pada tabel 9 diatas dapat dilihat nilai THDi pada transformator MI 0096 melebihi standar IEEE 519 - 2014 yang diijinkan. Hal ini menandakan transformator distribusi MI 0096 banyak menyuplai beban yang bersifat non linier.

#### 4.8 Rugi – Rugi Transformator MI 0096 Tanpa Terpengaruh THDi

Untuk mendapatkan rugi – rugi tanpa harmonisa pada transformator MI 0096 dilakukan *running load flow analysis* pada program ETAP Powerstation 12.6 dan didapatkan hasil rugi – rugi tanpa THDi pada Transformator MI 0096 sebesar 0,5 kW pada beban siang dan beban malam.



Gambar 2. Running Load Flow pada ETAP Powerstation 12.6  
(a) Beban Siang Hari, (b) Beban Malam Hari

#### 4.9 Rugi – Rugi Terpengaruh THDi pada Transformator MI 0096

Untuk menghitung rugi – rugi terpengaruh THDi pada transformator, didapatkan dengan persamaan (8). Sehingga didapatkan hasil sebagai berikut :

Tabel 10. Rugi Total Setelah Terpengaruh THDi

Beban	Rugi – Rugi Tanpa THDi	Rugi – Rugi Akibat THDi	Rugi – Rugi Total
Siang	0,5 kW	5,29 kW	5,79 kW
Malam	0,5 kW	10,5 kW	11,01 kW

Pada tabel 10 di atas, dapat dilihat rugi – rugi total Transformator pada beban malam hari lebih besar dari beban siang hari, hal ini dikarenakan THDi pada beban malam hari lebih besar dibandingkan beban siang hari.

#### V. SIMPULAN

Persentase ketidakseimbangan beban pada Transformator MI 0096 menurut Surat Edaran Direksi PT. PLN (Persero) No. 0017.E/DIR/2014 tentang Metode Pemeliharaan Trafo Distribusi Berbasis Kaidah Manajemen Aset (acuan *Load Reading and Profiling* Persentase ketidakseimbangan arus antar fasa) berada dalam kondisi buruk yaitu melebihi 25%, dengan persentase pada beban siang hari 28,74% dan malam hari 30,28%. Sehingga

perlu dilakukan pemerataan beban pada masing – masing fasa transformator.

THDv pada Transformator MI 0096 dalam batas yang diijinkan yaitu di bawah 5 % dengan THDv pada pada siang hari 1,7% dan malam hari 1,9%. THDi pada

transformator MI 0096 melebihi standar yang diijinkan yaitu 8%, dengan THDi pada siang hari 17,5% dan pada malam hari 24%.

Rugi - rugi yang diakibatkan oleh adanya THDi pada transformator MI 0096 mengalami peningkatan seiring dengan meningkatnya THDi pada transformator. Rugi - rugi tanpa terpengaruh THDi yaitu 0,5 kW, sedangkan rugi – rugi total setelah terpengaruh THDi yaitu 5,79 kW pada siang hari dan 11,01 kW pada malam hari.

#### VI. DAFTAR PUSTAKA

- [1] Wibowo dkk. Buku 4 Standar Konstruksi Gardu Distribusi Dan Gardu Hubung Tenaga Listrik. Jakarta Selatan: PT PLN (Persero). 2010.
- [2] Mertasana, P.A. Pengaruh Ketidakseimbangan Beban Terhadap Arus Netral Dan Losses Pada Transformator Distribusi KA 0562 Pada Penyulang Uma Alas Mengwi Badung. 2016.
- [3] Setadji, Machmudsyah, Istanto. Pengaruh Ketidakseimbangan Beban Terhadap Arus Netral Dan Losses

- Pada Transformator Distribusi. Jurnal Teknik Elektro, Volume 6, No. 1. 2006.
- [4] Prasetya, U.S. Evaluasi Pemerataan Beban Untuk Menekan Losses Jaringan Tegangan Rendah Jakarta : PT PLN (Persero) Distribusi Jakarta Raya dan Tangerang. 2007
  - [5] Dugan RC, McGranaghan MF, Santoso S, Beaty KW. Electrical Power System Quality-Second Edition. The McGraw-Hill. 2004.
  - [6] IEEE Standards Association. 519-2014. IEEE Recommended Practice and Requirements for Harmonic Control in Electric Power Systems. New York: IEEE Press; 2014.
  - [7] Wirajaya, A. Rinas. Sukerayasa. Studi Analisa Pengaruh Total Harmonic Distortion (THD) terhadap Rugi-Rugi, Efisiensi, dan Kapasitas Kerja Transformator pada Penyulang Kerobokan. Jurnal SPEKTRUM Vol. 6, No. 2 Juni 2019.
  - [8] Gonen T. Electric Power Distribution System Engineering-Second Edition. United State of America: CRC Press. 2008.
  - [9] Acuan *Load Reading and Profiling* Persentase ketidakseimbangan arus antar fasa. No. 0017.0017.E/DIR/2014. PT. PLN (Persero) Surat Edaran Direksi tentang Metode Pemeliharaan Trafo Distribusi Berbasis Kaidah Manajemen Aset halaman 8 bagian 6.6.2.6. Tahun 2014.