

# Perancangan Filter Pasif Untuk Mengurangi Kandungan Arus Harmonisa Pada Transformator Daya Berbasis SIMULINK

Heri Budi Utomo<sup>1</sup>, Megawati Rafita<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Jurusan Teknik Elektro, Politeknik Negeri Bandung, Bandung 40012  
E-mail : iatki.hbu@gmail.com

<sup>2</sup>Jurusan Teknik Elektro, Politeknik Negeri Bandung, Bandung 40012  
E-mail : Megawati.rafita.tlis18@polban.ac.id

## ABSTRAK

Pemakaian perangkat elektronik non-linier atau beban non-linier pada kehidupan sehari-hari seperti penggunaan televisi, komputer, kipas angin, dan lain-lain semakin meningkat dan banyak digunakan oleh masyarakat. Pemakaian perangkat tersebut dapat menyebabkan efek harmonisa pada transformator sehingga terjadi penurunan efisiensi transformator, peningkatan rugi-rugi transformator, penurunan kapasitas transformator, panas berlebih, dan penurunan umur transformator. Harmonisa dapat dikurangi dengan menggunakan filter harmonisa salah satunya yaitu filter pasif. Tujuan dari penelitian ini yaitu membandingkan harmonisa sebelum dan sesudah penambahan filter pasif. Metode yang digunakan dalam penelitian ini yaitu perancangan menggunakan perangkat lunak MATLAB/SIMULINK. Hasil dari penelitian ini yaitu penggunaan filter pasif dapat mengurangi kandungan arus harmonisa pada transformator sehingga dapat sesuai dengan standar dan dapat memperpanjang umur transformator. Pada fasa R arus *Total Harmonic Distortion* dari 6% menjadi 3,3%, Pada fasa S arus *Total Harmonic Distortion* dari 6,6% menjadi 4,47% dan pada fasa T arus *Total Harmonic Distortion* dari 6,2% menjadi 4,07% nilai tersebut menjadi sesuai dengan standar IEEE 519.2014 yaitu THDi maksimum sebesar 5%.

## Kata Kunci

*Transformator; Harmonisa; filter pasif; Beban Non-Linier*

## 1. PENDAHULUAN

### 1.1. Latar Belakang

Perkembangan teknologi yang semakin meningkat menyebabkan pemakaian perangkat elektronik beban non-linier (TV, Komputer, motor induksi, dan lain-lain) semakin banyak digunakan. Beban non-linier dapat menyebabkan harmonisa pada transformator. Harmonisa merupakan kejadian akibat distorsi gelombang arus dan tegangan yang menyebabkan gelombang frekuensi yang tinggi melebihi frekuensi dasar yaitu 50 Hz atau 60 Hz. Harmonisa dapat menyebabkan berbagai kerugian pada transformator seperti penuaan pada transformator, penurunan kapasitas transformator, kenaikan suhu, dan lain-lain. Untuk mengurangi kandungan harmonisa dapat dilakukan dengan cara menggunakan filter harmonisa pada transformator. Filter dibagi menjadi dua yaitu filter aktif dan filter pasif. Penggunaan filter pasif dapat digunakan untuk mengurangi arus harmonisa dengan menggunakan komponen induktor dan kapasitor.

### 1.2. Rumusan Masalah

Berdasarkan uraian di atas dapat dirumuskan suatu masalah yang relevan dengan judul yang ada yaitu:

1. Merancang suatu filter pasif pada transformator dengan menggunakan perangkat lunak simulink/matlab.
2. Pemilihan komponen filter pasif dengan beban transformator yang selanjutnya digunakan untuk mengurangi kandungan harmonisa pada transformator.

### 1.3. Tujuan

Adapun tujuan yang ingin penulis capai dalam penulisan penelitian ini yaitu:

1. Merancang sistem filter pasif pada transformator sesuai dengan data yang ada di transformator
2. Mengetahui karakteristik transformator sebelum dan sesudah penambahan filter pasif pada transformator
3. Membandingkan karakteristik transformator sebelum dan sesudah penambahan filter pasif pada transformator.

## 2. TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1. Studi Literatur

Merujuk penelitian Singh, Jaspreet, dkk. Tentang efek harmonisa pada kerugian dan kapasitas transformator distribusi. Akibat penggunaan beban elektronik non-linier meningkat setiap hari berpengaruh pada harmonisa transformator yang dapat merugikan transformator. Tujuan penelitian ini mengetahui efek harmonisa dan kerugian lainnya dengan menggunakan standar IEEE untuk perhitungan penurunan daya akibat harmonisa dengan hasil penelitian tersebut peningkatan rugi-rugi beban akibat harmonisa sehingga mengakibatkan beban lebih pada transformator [1].

Merujuk Vasantha, E. K. Berjudul tentang analisis kinerja filter pasif untuk harmonisa karena beban non-linier dalam sistem tenaga. pada sistem tenaga memuat beban linier dan non-linier. Beban non-linier mengubah sistem sinusoidal

arus dan tegangan ke dalam bentuk gelombang yang terdistorsi hal tersebut dapat merusak perangkat elektronik sehingga distorsi harus dikurangi dengan cara menggunakan filter. Tujuan penelitian ini memberikan analisis desain filter pasif dengan biaya rendah dan mengurangi distorsi akibat harmonisa arus. menggunakan perangkat lunak MATLAB dan menganalisa arus harmonisa pada saluran. Hasil penelitian tersebut adalah filter pasif yang diusulkan lebih sederhana dibandingkan dengan filter aktif dan dapat mengurangi harmonisa dengan urutan yang lebih tinggi [2].

Merujuk Soomro, M. A, dkk. tentang desain filter pasif harmonisa shunt untuk menekan harmonisa di orde ganjil dan meningkatkan efisiensi energi. Beban non-linier menyebabkan masalah kualitas daya muncul. Instalasi terpengaruh akibat kerugian harmonisa arus dan tegangan. Tujuan penelitian ini menurunkan harmonisa dapat menggunakan filter pasif harmonisa yang hemat biaya dan mudah digunakan dengan melakukan pengukuran dan hasil gelombang. Hasil penelitian tersebut masalah dalam harmonisa sangat mempengaruhi keandalan sistem tenaga harmonisa ketiga adalah yang paling dominan dan menyebabkan kerusakan pada mesin dan peralatan listrik [3].

## 2.2. Teori Dasar

### 2.2.1. transformator

Transformator adalah alat listrik tegangan input AC (*Alternating Current*) atau bolak-balik menjadi tegangan AC yang dapat lebih rendah atau lebih tinggi dari inputnya. Didalam transformator bagian input berada pada belitan primer sedangkan bagian output berada pada belitan sekunder. Pada transformator terdapat inti besi yang berfungsi untuk memperkuat medan magnet [4].

#### a. Prinsip Kerja Transformator

Transformator bekerja berdasarkan prinsip hukum faraday yaitu dengan mengubah nilai energi listrik ke nilai lainnya. Transformator akan bekerja berdasarkan dua atau lebih belitan yang ada pada transformator. Berdasarkan hukum faraday 2 yaitu massa yang dihasilkan pada elektrode berbanding lurus dengan massa ekuivalen zat.

Pada transformator energi listrik dipindahkan dengan induksi magnet dari satu rangkaian listrik ke rangkaian listrik lainnya. Pada saat salah satu belitan diberi energi maka pada inti transformator terdapat medan magnet dan akan terhubung pada belitan kedua yang dapat menghasilkan aliran arus [4].

#### b. Pembebanan Pada Transformator

Beban pada transformator pembebanan dibagi menjadi dua yaitu beban linier dan beban non-linier.

Beban linier adalah Beban linier adalah beban yang arusnya proporsional terhadap tegangannya sehingga bentuk gelombang arus dan tegangan akan sama [5].

Beban non-linier adalah beban yang arusnya tidak proporsional terhadap tegangannya sehingga bentuk gelombang arus dan tegangannya tidak sama (mengalami distorsi). Contoh dari beban non-linier adalah komputer, motor dc, lampu, dan lain lain [5].

### 2.2.2 Harmonisa pada transformator

Harmonisa adalah gelombang yang terbentuk dari kelipatan frekuensi fundamentalnya. Gelombang tersebut terdistorsi yang mengakibatkan gelombang sinusoidal murni menjadi gelombang sinusoidal tidak murni [6].

#### a. Standar Harmonisa Menurut IEEE 519.2014

terdapat dua kriteria untuk mengevaluasi distorsi harmonisa yaitu Batasan untuk harmonisa arus dan harmonisa tegangan [6].

Tabel II.1. Standar Harmonisa Tegangan [6].

Bus Voltage (V) at PCC	Individual Harmonic (%)	THD <sub>v</sub> (%)
$V \leq 1 \text{ kV}$	5.0	8.0
$1 \text{ Kv} < V \leq 69 \text{ kV}$	3.0	5.0
$69 \text{ Kv} < V \leq 161 \text{ kV}$	1.5	2.5
$161 \text{ Kv} < V$	1.0	1.5

Tabel II.2. Standar Harmonisa Arus [6].

Maximum Harmonic Current Distortion						
Individual Harmonic Order (add Harmonic)						
I <sub>sc</sub> /I <sub>Load</sub>	3 ≤ h ≤ 11	11 ≤ h ≤ 17	17 ≤ h ≤ 23	23 ≤ h ≤ 35	35 ≤ h ≤ 50	THDi (%)
< 20	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

#### b. Efek Harmonisa

Terjadinya harmonisa dapat menyebabkan beberapa efek pada transformator yaitu:

- Dapat menyebabkan peningkatan *losses* pada transformator
- Dapat menyebabkan penurunan efisiensi pada transformator [6].

### 2.2.3 Filter Pada Transformator

Filter harmonisa adalah suatu teknologi elektronika daya untuk menghasilkan komponen arus spesifik yang bertujuan untuk meredam arus harmonisa yang dihasilkan oleh beban non-linier [7].

#### a. Filter Aktif

Prinsip dasar dari Filter Aktif menggunakan teknologi elektronika daya untuk menghasilkan komponen arus spesifik yang bertujuan untuk menggagalkan komponen arus harmonisa yang dihasilkan oleh beban nonlinear [7].

b. Filter pasif

filter pasif bertujuan untuk mengalihkan harmonisa arus yang tidak diinginkan dalam sistem tenaga. Komponen dari Filter Pasif adalah resistor, induktor, dan kapasitor. Parameter utama yang harus dipertimbangkan dalam pemilihan R, L, C pada saat perancangan filter pasif adalah *quality factor* (Q), nilai ini akan menentukan ketajaman penalaan. Pada orde harmonisa frekuensi rendah biasanya Q berharga antara 30 sampai dengan 60 [7].

Berdasarkan susunan komponennya filter pasif dapat dibedakan menjadi 3 bagian yaitu: [8]

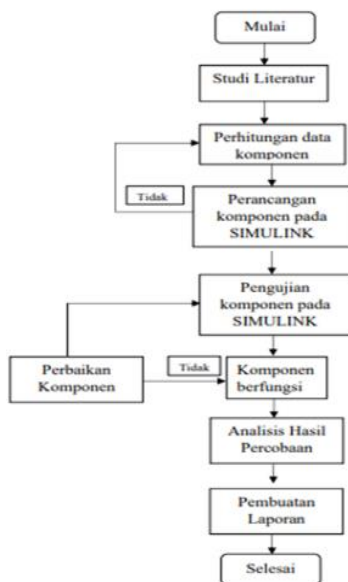
1. Filter dengan penalaan tunggal (*Single Tuned Shunt Filter*)
2. Filter dengan penalaan ganda (*Double Tuned Filter*)

3.METODOLOGI PENELITIAN

Metode yang digunakan pada penelitian ini yaitu dengan menggunakan perangkat lunak MATLAB/SIMULINK

3.1. Diagram Alir Pelaksanaan

Diagram alir pelaksanaan berisi gambaran tahapan-tahapan dalam pengerjaan penelitian ini yang dimulai dari studi literatur, perhitungan data komponen, perancangan komponen hingga komponen berfungsi dan sampai tahap pembuatan laporan dan kemudian selesai.



3.2. deskripsi sistem kerja

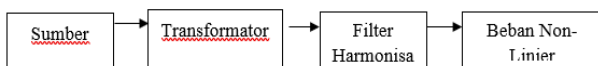


Diagram blok diatas terdiri dari beberapa komponen penyusun. Filter pasif terdiri dari beberapa komponen pasif harmonisa yang dipasang secara seri. Filter pasif mengalirkan arus harmonisa melalui filter dari beban non-linier dengan cara mengatur kapasitor agar terjadi resonansi sehingga impedansinya mengecil karena hanya ada komponen resistansi saja.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Data transformator

Tabel IV.1. Data Transformator [9].

No	Data	Spesifikasi
1	Buatan Pabrik	TRAFINDO
2	Tipe	Indoor
3	Daya	2500 KVA
4	Tegangan	20 kV / 0,4 kV
5	Arus	72,17 A / 3608 A
6	Impedansi	7 %
7	Frekuensi	50 Hz
8	Hubungan	Dyn 5

Sumber : Transformator Hotel Ambhara, Jakarta [9].

4.2 Data Hasil Pengukuran

Berdasarkan jurnal, pengukuran pada transformator adalah sebagai berikut :

a. Phasa R

Tabel IV.2. Data Hasil Pengukuran Fasa R [9].

Waktu pengukuran	Parameter				
	V <sub>RMS</sub> (V)	I <sub>RMS</sub> (A)	Frekuensi (Hz)	V <sub>THD</sub>	I <sub>THD</sub>
09.20	236	590	52	1,4	6,2
16.40	235	620	50	1,46	6,2
18.20	237	610	52	1,4	6,2
23.20	237	600	50	1,52	6,6

b. Phasa S

Tabel IV.2. Data Hasil Pengukuran Fasa S [9].

Waktu pengukuran	Parameter				
	V <sub>RMS</sub> (V)	I <sub>RMS</sub> (a)	Frekuensi (Hz)	V <sub>THD</sub>	I <sub>THD</sub>
07.40	230	540	50	1,4	6,6
16.40	236	540	50	1,41	6,6
18.20	237	560	51	1,42	6
23.20	238	580	50	1,56	5,5

c. Fasa T

Tabel IV.2. Data Hasil Pengukuran Fasa T [9].

Waktu pengukuran	Parameter				
	V <sub>RMS</sub> (V)	I <sub>RMS</sub> (A)	Frekuensi (Hz)	V <sub>THD</sub>	I <sub>THD</sub>
04.20	237	430	49	1,78	7,8
16.40	235	540	50	1,1	6
13.20	230	630	50	1,26	5,2
23.20	237	540	50	1,58	7,2

4.3 Data Hasil Perhitungan

a. perhitungan rasio I<sub>sc</sub>/I<sub>load</sub>

1. Pada fasa R

jam 16.40

$$S = 153; V = 0,235; Z = 7\%$$

$$I_{FL} = \frac{S}{\sqrt{3} \times V} = \frac{153}{\sqrt{3} \times 0,235} = 353,33 \text{ A}$$

$$I_{SC} = \frac{S}{\sqrt{3} \times V \times \%Z} = \frac{153}{\sqrt{3} \times 0,4 \times 0,07} = 3154,80 \text{ A}$$

$$I_{SC} / I_{FL} = \frac{3154,80}{353,33} = 8,92$$

waktu	S	Vrms	Z	I <sub>FL</sub>	I <sub>sc</sub>	I <sub>sc</sub> /I <sub>FL</sub>
09:20	136	236	7 %	577,35	4866,24	8,43
16:40	153	235	7 %	375,89	3154,81	8,92
18:20	155	237	7 %	377,59	3196,05	8,46
23:20	161	237	7 %	392,20	3319,76	8,46

2. Pada Fasa S

Jam 16.40

$$S = 128; V = 0,236; Z = 7\%$$

$$I_{FL} = \frac{S}{\sqrt{3} \times V} = \frac{128}{\sqrt{3} \times 0,236} = 313,13 \text{ A}$$

$$I_{SC} = \frac{S}{\sqrt{3} \times V \times \%Z} = \frac{128}{\sqrt{3} \times 0,4 \times 0,07} = 2639,316 \text{ A}$$

$$I_{SC} / I_{FL} = \frac{2639,316}{313,13} = 8,42$$

waktu	S	Vrms	Z	I <sub>FL</sub>	I <sub>sc</sub>	I <sub>sc</sub> /I <sub>FL</sub>
07:40	122	230	7 %	306,24	2515,598	8,21
16:40	128	236	7 %	313,13	2639,316	8,42
18:20	132	237	7 %	321,56	2721,794	8,46
23:20	136	238	7 %	329,91	2804,273	8,50

3. Pada Fasa T

Jam 16.40

$$S = 128; V = 0,235; Z = 7\%$$

$$I_{FL} = \frac{S}{\sqrt{3} \times V} = \frac{128}{\sqrt{3} \times 0,235} = 314,47 \text{ A}$$

$$I_{SC} = \frac{S}{\sqrt{3} \times V \times \%Z} = \frac{128}{\sqrt{3} \times 0,4 \times 0,07} = 2639,32 \text{ A}$$

$$I_{SC} / I_{FL} = \frac{2639,316}{313,13} = 8,39$$

waktu	S	Vrms	Z	I <sub>FL</sub>	I <sub>sc</sub>	I <sub>sc</sub> /I <sub>FL</sub>
04:20	100	237	7 %	243,60	2061,97	8,50
16:40	128	235	7 %	314,47	2639,32	8,39
13:20	148	230	7 %	317,51	3051,71	8,21
23:20	130	237	7 %	316,69	2680,55	8,50

4. Analisa Harmonisa Berdasarkan Standar IEEE

a. pada fasa R

WAKTU	I <sub>sc</sub> / I <sub>FL</sub>	THDi (%)	Keterangan
09:20	8,43	6,2	Belum sesuai karena Melebihi Standar IEEE
16:40	8,92	6,2	Belum sesuai karena Melebihi Standar IEEE
18:20	8,46	6,2	Belum sesuai karena Melebihi Standar IEEE
23:20	8,46	6,6	Belum sesuai karena Melebihi Standar IEEE

b. pada fasa S

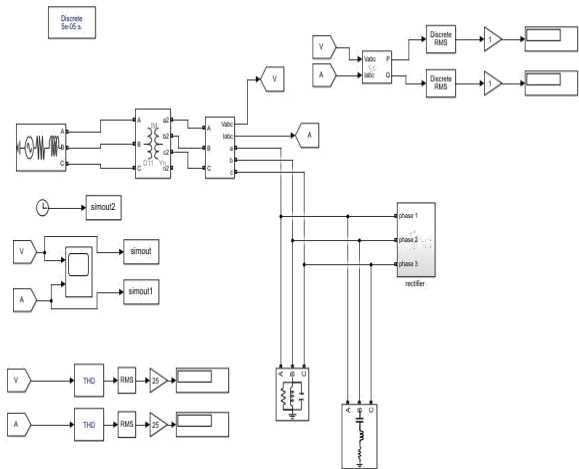
WAKTU	I <sub>sc</sub> / I <sub>FL</sub>	THDi (%)	Keterangan
07:40	8,21	6,6	Belum sesuai karena Melebihi Standar IEEE
16:40	8,42	6,6	Belum sesuai karena Melebihi Standar IEEE
18:20	8,46	6	Belum sesuai karena Melebihi Standar IEEE
23:20	8,50	5,5	Belum sesuai karena Melebihi Standar IEEE

c. pada fasa T

WAKTU	I <sub>sc</sub> / I <sub>FL</sub>	THDi (%)	Keterangan
04.20	8,50	7,8	Belum sesuai karena Melebihi Standar IEEE
16.40	8,39	6	Belum sesuai karena Melebihi Standar IEEE
13.20	8,21	5,2	Belum sesuai karena Melebihi Standar IEEE
23.20	8,50	7,2	Belum sesuai karena Melebihi Standar IEEE

4.5. Perancangan Filter Harmonisa

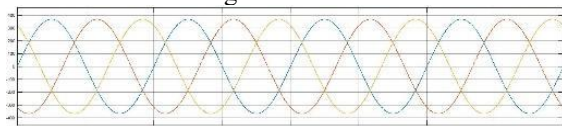
a. Gambar Rangkain Simulnik



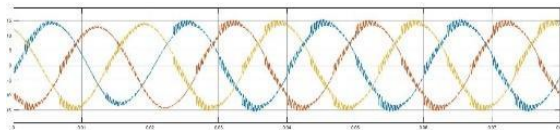
Gambar 1. Perancangan Filter Pasif [10].  
Pada rangkaian diatas menggunakan beban non-linier berupa thyristor 6-pulse generator, resistor, induktor, dan kapasitor. Jenis filter yang digunakan yaitu Single-Tuned filter.

b. Hasil Percobaan

1. Hasil Gelombang



(a)

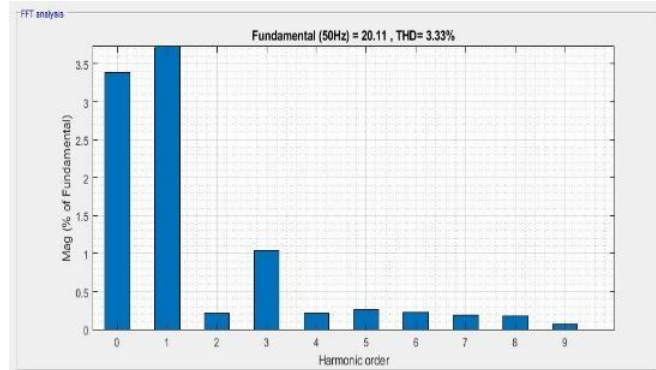


(b)

Gambar 2. (a) gelombang tegangan (b) gelombang arus

2. Hasil FFT Analisis

- Pada Phasa R



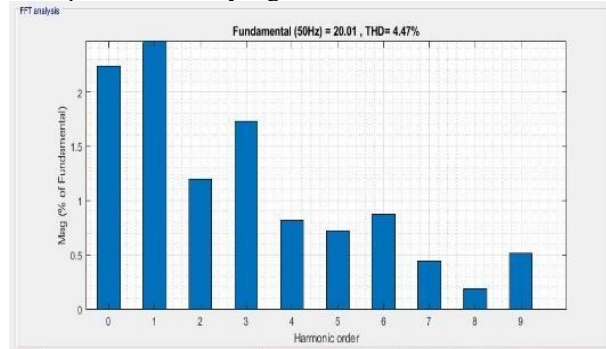
Gambar 3. THDi Phasa R

Orde Harmonisa Phasa R :

THD = 3.33%

Frequency (Hz)	Order	Mag (%)	Phase (°)
0	(DC)	3.33%	90.0°
50	(Fnd)	100.00%	19.9°
100	(h2)	0.21%	229.7°
150	(h3)	1.04%	259.5°
200	(h4)	0.21%	202.9°
250	(h5)	0.26%	175.7°
300	(h6)	0.22%	217.7°
350	(h7)	0.19%	138.8°
400	(h8)	0.18%	125.7°
450	(h9)	0.06%	122.7°

Gambar 4. Orde Harmonisa phasa R  
Pada phasa R THDi yang dihasilkan sebesar 3.33%



Pada Phasa S

Gambar 5. THDi Phasa S

Orde Harmonisa Phasa S :

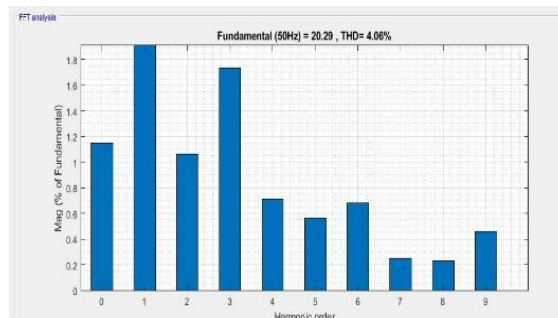
THD = 4.47%

Frequency (Hz)	Order	Mag (%)	Phase (°)
0	(DC)	2.24%	270.0°
50	(Fnd)	100.00%	260.7°
100	(h2)	1.20%	99.4°
150	(h3)	1.73%	5.2°
200	(h4)	0.81%	-34.8°
250	(h5)	0.72%	41.5°
300	(h6)	0.87%	5.1°
350	(h7)	0.44%	-49.0°
400	(h8)	0.19%	23.2°
450	(h9)	0.51%	-13.4°

Gambar 6. Orde Harmonisa phasa S

Pada phasa S THDi yang dihasilkan sebesar 4.47%

- Pada Phasa T



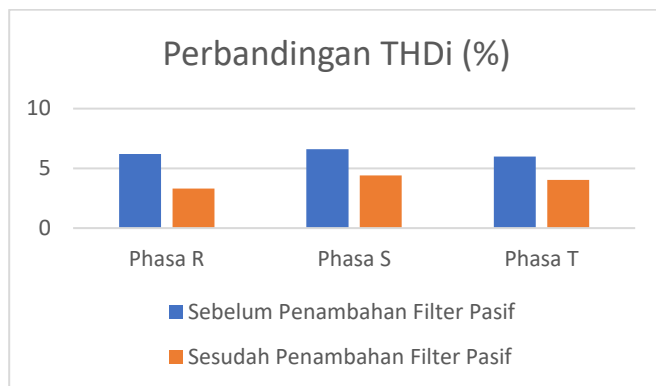
Gambar 7. THDi Phasa T

Orde Harmonisa Phase T :

THD = 4.06%		
0 Hz (DC) :	1.15%	270.0°
50 Hz (Fnd) :	100.00%	140.5°
100 Hz (h2) :	1.06%	-71.9°
150 Hz (h3) :	1.74%	150.4°
200 Hz (h4) :	0.71%	131.0°
250 Hz (h5) :	0.56%	240.5°
300 Hz (h6) :	0.68%	175.0°
350 Hz (h7) :	0.25%	125.1°
400 Hz (h8) :	0.23%	262.6°
450 Hz (h9) :	0.46%	171.9°

Gambar 8. Orde Harmonisa Phase T

Pada phase T THDi yang dihasilkan sebesar 4.06 %  
c. Perbandingan THDi Sebelum dan Sesudah Penambahan Filer Pasif



Gambar 9. Perbandingan Sebelum dan Sesudah Penambahan Filter Pasif

d. Analisis  
dari data diatas setelah penambahan filter pasif THDi pada transformator menjadi berkurang dan sesuai dengan standar IEEE.519.2014. yaitu maksimal 5 %.

## 5. KESIMPULAN

Penggunaan beban non-linier pada transformator dapat menimbulkan harmonisa pada transformator yang dapat menyebabkan penurunan efisiensi, penambahan rugi-rugi dan penurunan umur transformator. Harmonisa dapat dikurangi dengan cara penambahan filter pasif. Dari hasil tersebut THDi pada transformator berkurang. pada phase R dari 6% menjadi 3,3%, Pada phase S dari 6,6% menjadi 4,47% dan pada phase T dari 6,2% menjadi 4,07% nilai tersebut menjadi sesuai dengan standar IEEE 519.2014 yaitu THDi maksimum sebesar 5%.

## UCAPAN TERIMAKASIH

Tim peneliti mengucapkan terimakasih kepada Politeknik Negeri Bandung, melalui wakil Direktur Akademik atas bantuan pendanaan penyusunan penelitian ini nomor B/402/PL1.R1/EP.00.08/2021 kelompok A1

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] Singh, J., Singh, S., & Singh, A. (2017). Effect of harmonics on distribution transformer losses and capacity. *International Journal of Engineering Technology Science and Research*, 4(6).
- [2] Vasantha, E. K. (2018). Performance Analysis of Passive Filter for Harmonics Due to Non-Linear Load in Power System. 5 (10)
- [3] Soomro, M. A., Sahito, A. A., Halepoto, I. A., & Kazi, K. (2016). Single Tuned Harmonic Shunt Passive Filter Design for Suppressing Dominant Odd Order Harmonics in order to Improve Energy Efficiency. *Indian Journal of Science and Technology*, 9, 47.
- [4] Ibatullayeva, A. (2017). *Power Transformers in Electrical Transmission and Distribution Grids* (Bachelor's thesis, České vysoké učení technické v Praze. Vypočetní a informační centrum.).
- [5] Ariana, I Gede., I.W. Rinas2 , I.G.D Arjana.(2017) Analisis Pengaruh Harmonisa Terhadap Rugi-Rugi Daya (Losses) Pada Transformator di Penyulang Sedap Malam. *Udayana. Teknologi Elektro*, Vol. 16, Nol
- [6] Widiastara, W. A. A., Rinas, I. W., & Sukerayasa, I. W. (2016). Analisis Pengaruh *Total Harmonic Distortion* Terhadap *Losses* dan Efisiensi Transformator RSUD Kabupaten Klungkung.
- [7] Aryawan, I & Weking, Antonius & Rinas, I. (2018). Analisis Pemasangan Filter Pasif Dan Aktif Terhadap Kandungan Harmonisa Dan Rugi-Rugi Daya Gardu Distribusi Ka 2085 Di Pt. PIn (Persero) Distribusi Bali Rayon Mengwi. *Jurnal Spektrum*. 5. 41. 10.24843/Spektrum.2018.V05.I01.P06.
- [8] Fatkhurrohman, M. (2015). *Desain Filter Pasif Harmonisa pada Sistem Kelistrikan CPA Petrochina Tuban* (Doctoral dissertation, Institut Teknologi Sepuluh Nopember).
- [9] Dermawan, E., & Marthalia, A. (2017). Evaluasi Penentuan Rugi-Rugi Transformator dalam Pengaruh Arus Non-Sinusoidal. *eLEKTUM*, 13(2), 7-15.
- [10] Karekar. S. (2018). Analysis, Comparison and Study on Mitigation of Harmonics by using Active and Passive Harmonics Filters by using MATLAB Simulink.