

Analisa Perancangan Filter Pasif dan Efisiensi Transformator Daya Akibat Harmonisa dengan Menggunakan Matlab

Heri Budi Utomo¹, Sunarto², Erwin Fadhlurohman³

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

²Jurusan Teknik Elektro, Politeknik Negeri Bandung, Bandung 40012
E-mail : sun_dtl@yahoo.com

³Jurusan Teknik Elektro, Politeknik Negeri Bandung, Bandung 40012
E-mail : erwinfadhlurohman@gmail.com

ABSTRAK

Tenaga listrik di Indonesia diprogram agar dapat bekerja pada frekuensi 50 Hz. Namun, ketika sistem dirancang pada frekuensi 50 Hz, jenis beban seperti beban non-linier mengakibatkan sistem beroperasi tidak hanya pada frekuensi tersebut. Faktor besar dari distorsi ini adalah gejala gelombang-gelombang dengan frekuensi berbeda yang disebut dengan distorsi harmonisa. Harmonisa berpengaruh pada komponen sistem tenaga listrik dengan akibat yang berbeda. Pengaruh distorsi harmonisa secara umum merupakan penurunan kinerja bahkan sampai kerusakan. Dengan demikian, penulisan ini akan menjelaskan hasil pengamatan pengaruh distorsi harmonisa transformator yang menjadi salah satu komponen dasar sistem tenaga listrik. Hasil pengamatan menunjukkan harmonisa mengakibatkan nilai rugi-rugi daya pada transformator bertambah proporsional terhadap besar arus komponen dan menyebabkan nilai efisiensi yang kecil. Nilai efisiensi yang dihasilkan sebesar 66,7%, 67%, dan 66,9%. Serta penurunan kapasitas kerja dapat terjadi akibat distorsi harmonisa tersebut. Untuk mengurangi distorsi harmonisa dapat menggunakan filter pasif. Perancangan filter pasif dilakukan pada simulasi Simulink Matlab. Hasil perancangan yang cukup efektif untuk mengurangi THD yang terjadi. THDv fasa R sebelumnya 5,51% menjadi 2,98%, THDv fasa S sebelumnya 5,52% menjadi 2,96%, THDv fasa T sebelumnya 5,49% menjadi 2,91% dan THDi fasa R sebelumnya 5,44% menjadi 4,75%, THDi fasa S sebelumnya 5,38% menjadi 4,74%, THDi fasa T sebelumnya 5,45% menjadi 4,83%.

Kata Kunci

Transformator, harmonisa, efisiensi, simulink matlab

1. PENDAHULUAN

Tingginya persentase kandungan harmonisa arus dan tegangan pada suatu sistem tenaga listrik dapat menyebabkan timbulnya beberapa persoalan harmonisa yang serius pada sistem tersebut. Harmonisa adalah gangguan yang terjadi dalam sistem distribusi tenaga listrik yang disebabkan adanya distorsi gelombang arus dan tegangan. Distorsi harmonisa arus dan tegangan ini disebabkan adanya pembentukan gelombang dengan frekuensi kelipatan bulat dari frekuensi dasar. Keberadaan harmonisa ini mengakibatkan salah satu kerugian pada transformator distribusi.

Banyaknya aplikasi beban nonlinier pada sistem tenaga listrik telah membuat arus sistem menjadi sangat terdistorsi dengan persentase kandungan harmonisa. Umumnya arus sistem tenaga listrik yang terdistorsi tersebut didominasi oleh arus harmonisa orde ganjil frekuensi rendah, yakni arus harmonisa orde lima, tujuh, sebelas, dan seterusnya, yang besarnya arus harmonisanya berbanding terbalik dengan orde harmonisanya. Seperti terjadinya resonansi pada sistem yang merusak kapasitor kompensasi faktor daya, membuat faktor daya sistem menjadi lebih buruk, meningkatkan rugi-rugi sistem, menimbulkan berbagai macam kerusakan pada peralatan listrik yang sensitif,

yang kesemuanyamenyebabkan penggunaan energi listrik menjadi tidak efektif. Maka diperlukan perancangan filter pasif untuk mengurangi distorsi harmonisa yang terjadi, agar tidak menimbulkan kerusakan pada peralatan dan penggunaan energi listrik tetap efektif. Dari beberapa referensi yang didapatkan, maka dari itu penelitian ini membahas tentang perancangan filter pasif untuk mereduksi harmonisa yang terjadi menggunakan simulink matlab.

2. TINJAUAN PUSTAKA

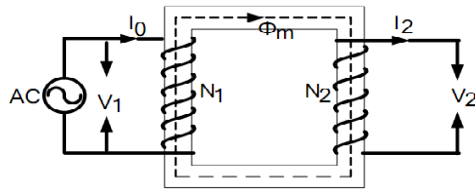
Merujuk penelitian Singh, Jaspreet, Sanjeev Singh, and Amanpreet. Metode penelitian ini yaitu dengan menggunakan standar IEEE untuk perhitungan penurunan daya transformator akibat harmonisa. Hasil dari penelitian tersebut adalah adanya peningkatan rugi rugi pada beban akibat dari harmonisa yang menurunkan kapasitas transformator sehingga mengakibatkan terjadinya beban lebih pada transformator.[1]

Merujuk penelitian Zeynep, K. A. Y. A., İ. M. A. L. Nazım, and Oğuz Gökhasan. Pada penelitian ini dilakukan dengan cara perhitungan nilai efisiensi pada transformator. Hasil dari penelitian tersebut adalah pada

saat transformator beroperasi untuk daya yang kecil maka rasio kerugian akan meningkat secara signifikan.[2]

Merujuk penelitian Jinhao Wang, Min Zhang, Shengwen Li, Tingdong Zhou, and Huijie Du. Filter dirancang untuk menghilangkan harmonisa orde rendah dan kompensasi daya reaktif. Hasil simulasi menunjukkan filter pasif memiliki penekanan yang efektif terhadap karakteristik dan resonansi harmonisa.[3]

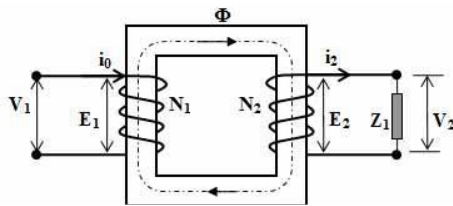
2.1. Transformator Tanpa Beban



Gambar 1. Transformator Tanpa Beban

Dalam kondisi ini, arus I_0 yang mengalir pada kumparan primer merupakan sangat kecil. Arus ini diucap arus primer tanpa beban ataupun arus penguat.

2.2. Keadaan Transformator berbeban



Gambar 2. Transformator Berbeban

Beban Penuh Transformator

Daya transformator dapat ditentukan dengan menggunakan persamaan sebagai berikut.[4]

$$S = \sqrt{3} \cdot V \cdot I \quad (1)$$

Keterangan:

S : Daya transformator (kVA)

V : Tegangan sisi primer (kV)

I : Arus jala-jala (A)

Untuk menghitung arus beban penuh, maka dapat menggunakan persamaan berikut:

$$I_{FL} = S/(\sqrt{3} \cdot V) \quad (2)$$

2.3. Rugi-rugi Transformator

Rugi yang disebabkan arus beban mengalir pada kawat tembaga.

Karena arus beban berubah-ubah, rugi tembaga juga tidak tetap tergantung pada beban. [5]

$$P_{cu} = I^2 R \quad (3)$$

Dengan demikian rugi tembaga total :

$$P_{cu \text{ tot}} = I_1^2 R_1 + I_2^2 R_2 + I_3^2 R_3 \quad (4)$$

2.4. Efisiensi Transformator

Efisiensi transformator adalah perbandingan antara keluaran daya yang berguna dan masuk daya total. Karena masukan ke transformator sama dengan keluaran daya yang berguna ditambah kerugiannya, maka persamaan efisiensi dapat ditulis dalam bentuk sebagai berikut:[6]

$$\begin{aligned} \text{Persen efisiensi} &= P_{out}/P_{in} \times 100\% \\ &= P_{out}/(P_{out}+P_{cu}) \times 100\% \end{aligned} \quad (5)$$

2.5. Harmonisa Pada Transformator

Harmonisa adalah kejadian yang terjadi akibat distorsi gelombang arus dan tegangan sehingga menyebabkan bentuk gelombang frekuensi yang tinggi melebihi kelipatan frekuensi dasar yaitu 50 Hz atau 60 Hz.

Beban non-linier tidak memiliki hubungan antara arus konstan dengan tegangan selama satu periode. Contoh dari beban linier misalnya yaitu dioda, saklar, ballast penerangan, transistor, thyristor, switching beban, dan lain lain.

Indikator pada harmonisa:[7]

- Spektrum harmonisa
Spektrum harmonisa adalah keadaan dimana dekomposisi sinyal yang terdistorsi dapat terjadi dan mudah dianalisis.
- Total Harmonic Distortion
Total harmonic distortion adalah rasio diantara nilai rms dari semua harmonisa dengan nilai rms dari frekuensi dasar.

Tabel 1 Standar harmonisa tegangan [8]

Sistem tegangan	IHD _V (%)	THD _V (%)
$V_{rms} \leq 69 \text{ kV}$	3.0	5.0
$69 \text{ Kv} < V_{rms} \leq 161 \text{ kV}$	1.5	2.5
$V_{rms} > 161 \text{ kV}$	1.0	1.5

Tabel 2 Standar harmonisa arus [8]

Sistem Tegangan	I _{sc} /I _{load}	THD _I (%)
$V_{rms} \leq 69 \text{ kV}$	< 20	5.0
	20-50	8.0
	50-100	12.0
	100-1000	15.0
	>1000	20.0
$69 \text{ Kv} < V_{rms} \leq 161 \text{ kV}$	< 20	2.5
	20-50	4.0
	50-100	6.0
	100-1000	7.5
	>1000	10.0
$V_{rms} > 161 \text{ kV}$	< 50	2.5
	≥ 50	4.0

Efek Harmonisa

Terjadinya harmonisa dapat menyebabkan beberapa efek pada transformator yaitu:

- Terjadinya rugi-rugi inti dan rugi-rugi tembaga.
- Dapat menyebabkan suara bising dan panas berlebih.
- Memiliki resiko potensial resonansi antara induktansi transformator dengan beban kapasitif suplai.

2.6. Filter Pasif Pada Transformator

Filter pasif merupakan salah satu metode penyelesaian yang efektif dan ekonomis pada gangguan harmonisa. Filter pasif sebagian besar dirancang memberikan bagian khusus untuk mengalihkan arus harmonisa yang tidak disarankan dalam sistem tenaga. Ada dua jenis filter pasif yaitu filter pasif seri dan filter pasif paralel. Filter pasif seri mempunyai karakteristik sebagai resonansi paralel dan merupakan jenis filter yang bersifat sebagai gangguan, yang memiliki impedansi tinggi pada frekuensi tertentu.[10]

Filter pasif ini mempunyai beberapa bentuk berdasarkan susunan rangkaian komponen penyusun. Secara umum filter pasif dapat dibedakan dalam tiga jenis :

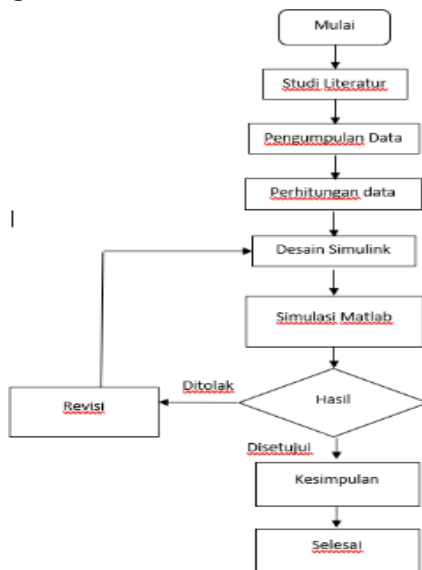
- Filter dengan penalaan tunggal (*Single Tuned Shunt Filter*).
- Filter dengan penalaan ganda (*Double Tuned Filter*).
- High Pass Damp Filter Type*.

3. METODOLOGI

3.1 Metode Penelitian

Penelitian yang dimulai dari studi literatur, perhitungan komponen, perancangan komponen dan sampai pembuatan laporan dan selesai.

3.2 Diagram Alir



Gambar 3. Diagram Alir

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil Penelitian

Pengukuran dilakukan pada sisi sekunder transformator di Politeknik Enjineri Indorama dengan spesifikasi sebagai berikut :

Kapasitas Transformator (S)	: 1000 kVA
Frekuensi	: 50 Hz
Voltage Primer	: 20 kV
Voltage Sekunder	: 0,4 kV
Impedansi	: 4%
Cos phi	: 0,85

4.1.1 Hasil Pengukuran Fasa L1

Tabel 3 Hasil Pengukuran Tanggal 19 Juli 2016 [11]

Parameter	Waktu Pengukuran		
	09:00	11:00	14:00
Tegangan (v)	240,4	240	239,8
Arus (A)	410,6	409,3	417,9
THDv (%)	3,3	3,1	3,6
THDi (%)	20,2	10,1	11
Frekuensi (Hz)	50,01	49,98	50,04
Pcu (kW)	74,53	79,33	82,22

4.1.2 Hasil Pengukuran Fasa L2

Tabel 4 Hasil Pengukuran Tanggal 19 Juli 2016 [11]

Parameter	Waktu Pengukuran		
	09:00	11:00	14:00
Tegangan (v)	241,5	241	241
Arus (A)	347,5	361,3	358,1
THDv (%)	3,5	2,4	2,8
THDi (%)	7,7	9,2	26,6
Frekuensi (Hz)	50,01	49,98	50,4
Pcu (kW)	60,97	69,91	64,15

4.1.3 Hasil Pengukuran Fasa L3

Tabel 5 Hasil Pengukuran Tanggal 19 Juli 2016 [11]

Parameter	Waktu Pengukuran		
	09:00	11:00	14:00
Tegangan (v)	241	240,6	240,4
Arus (A)	338,6	342,4	331,5
THDv (%)	3,3	3,3	2,8
THDi (%)	22	8,9	23,5
Frekuensi (Hz)	50,01	49,98	50,04
Pcu (kW)	58,31	63,16	60,2

4.2 Analisis Efisiensi

Untuk mencari nilai efisiensi transformator di Politeknik Enjineri Indorama, maka dapat dihitung dengan persamaan (2.6). Dengan hasil sebagai berikut:

Tabel 6. Hasil Efisiensi Transformator

Waktu	09.00	11.00	14.00
Efisiensi (%)	66,7	67	66,9

Berdasarkan tabel 6, hasil efisiensi pada ketiga transformator, dengan nilai efisiensi yang cukup kecil. Yang menyebabkan tidak efisien.

4.3 Analisis Harmonisa Berdasarkan Standar IEEE

Untuk menghitung nilai rasio agar mengetahui harmonisa arus sesuai standar IEEE atau tidak sebagai berikut:

$$\text{Rasio} = I_{sc}/I_{fl}$$

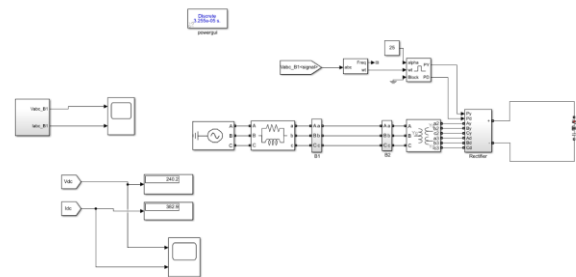
Tabel 7. Data Analisis Standar THDi

Phasa	Jam	I_{sc} / I_{fl}	THDi (%)	Keterangan
R	09.00	14,9	20,9	Belum sesuai karena Melebihi Standar IEEE
	11.00	15	10,1	Belum sesuai karena Melebihi Standar IEEE
	14.00	15	11	Belum sesuai karena Melebihi Standar IEEE
S	09.00	15	7,7	Belum sesuai karena Melebihi Standar IEEE
	11,00	15	9,2	Belum sesuai karena Melebihi Standar IEEE
	14.00	14,9	26,6	Belum sesuai karena Melebihi Standar IEEE
T	09.00	14,9	22	Belum sesuai karena Melebihi Standar IEEE
	11.00	14,9	8,9	Belum sesuai karena Melebihi Standar IEEE
	14.00	15	23,5	Belum sesuai karena Melebihi Standar IEEE

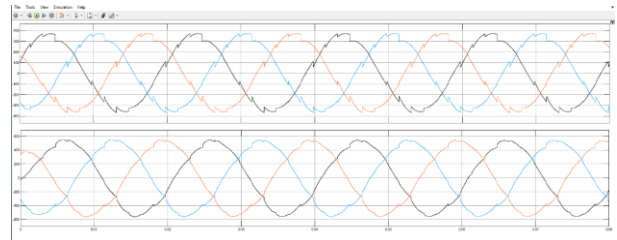
Berdasarkan tabel 7, data analisis THDi yang melebihi standar harmonisa yang sudah ditetapkan. Yaitu melebihi 5%.

4.4 Simulasi Pada Simulink Matlab

4.4.1 Simulasi Sebelum Menggunakan Filter Pasif

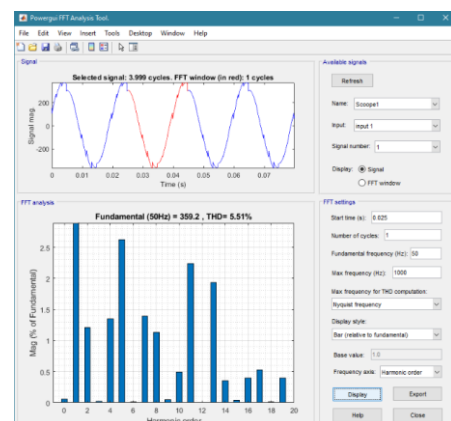


Gambar 4. Rangkaian Sebelum Menggunakan Filter Pasif



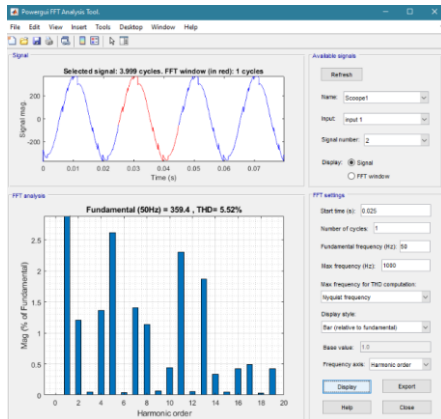
Gambar 5. Gelombang Akibat Harmonisa Yang Melebihi Standar IEEE

Berdasarkan gambar 5, gelombang tersebut menunjukkan harmonisa yang melebihi standar yaitu maksimal 5%.



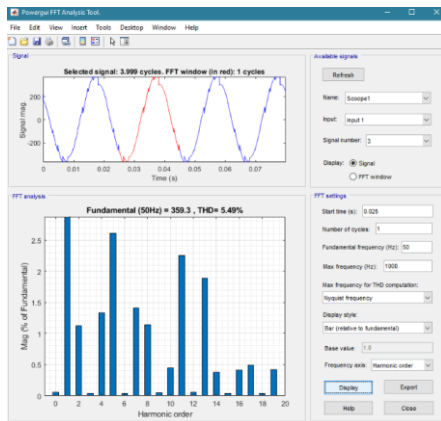
Gambar 6. THDv Phasa R Sebelum Menggunakan Filter Pasif

Berdasarkan gambar 6, nilai THDv pada phasa R menunjukkan 5,51%, berarti THDv pada phasa R melebihi standar yang sudah ditentukan yaitu maksimal 5%.



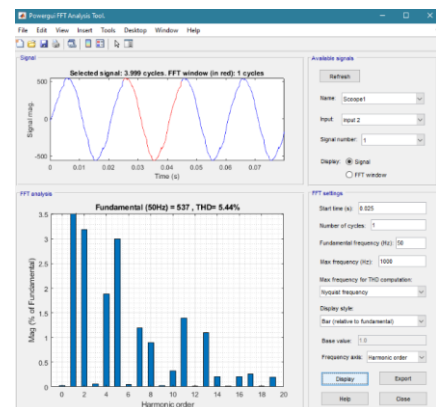
Gambar 7. THDv Phasa S Sebelum Menggunakan Filter Pasif

Berdasarkan gambar 7, nilai THDv pada phasa S menunjukkan 5,52%, berarti THDv pada phasa S melebihi standar yang sudah ditentukan yaitu maksimal 5%.



Gambar 8. THDv Phasa T Sebelum Menggunakan Filter Pasif

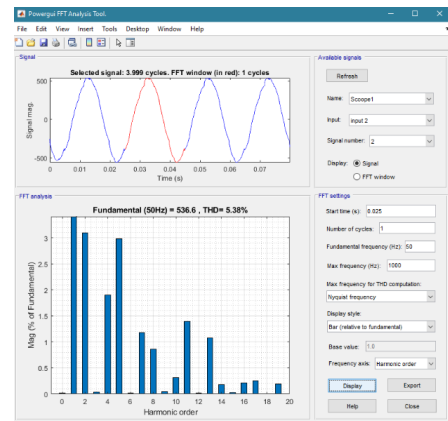
Berdasarkan gambar 8, nilai THDv pada phasa T menunjukkan 5,49%, berarti THDv pada phasa T melebihi standar yang sudah ditentukan yaitu maksimal 5%.



Gambar 9. THDi Phasa R Sebelum Menggunakan Filter Pasif

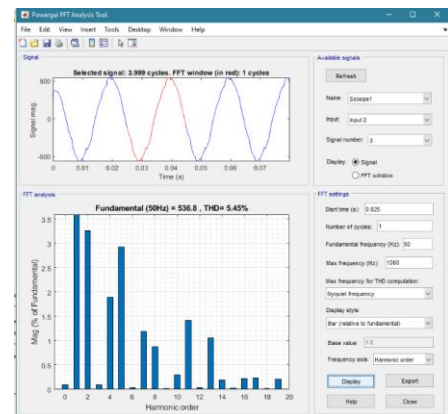
Berdasarkan gambar 9, nilai THDi pada phasa R menunjukkan 5,44%, berarti THDi pada phasa R

melebihi standar yang sudah ditentukan yaitu maksimal 5%.



Gambar 10. THDi Phasa S Sebelum Menggunakan Filter Pasif

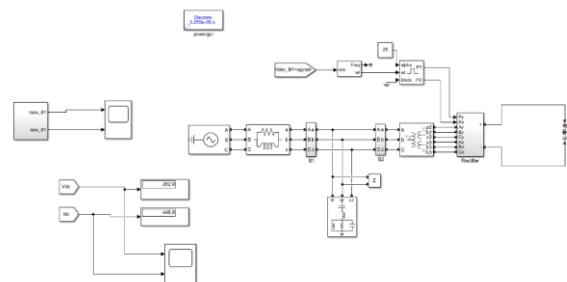
Berdasarkan gambar 10, nilai THDi pada phasa S menunjukkan 5,38%, berarti THDi pada phasa S melebihi standar yang sudah ditentukan yaitu maksimal 5%.



Gambar 11. THDi Phasa T Sebelum Menggunakan Filter Pasif

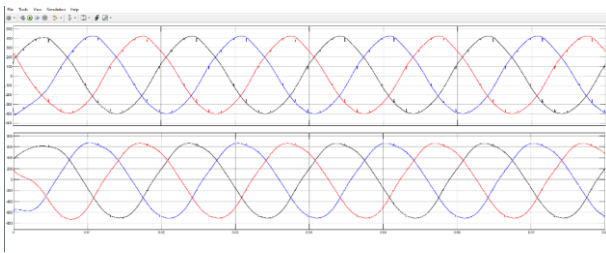
Berdasarkan gambar 11, nilai THDi pada phasa T menunjukkan 5,45%, berarti THDi pada phasa T melebihi standar yang sudah ditentukan yaitu maksimal 5%.

4.4.2. Simulasi Sesudah Menggunakan Filter Pasif



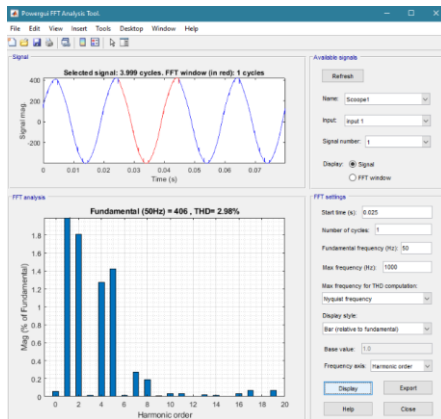
Gambar 12. Rangkaian Sesudah Menggunakan

Filter Pasif



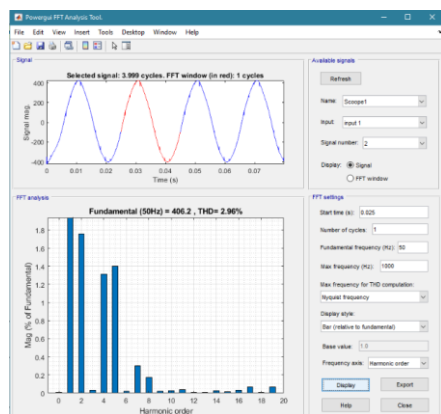
Gambar 13. Gelombang Sesudah Menggunakan Filter Pasif

Berdasarkan gambar 13, gelombang tersebut menunjukkan harmonisa yang mengalami penurunan dan sudah dibawah standar yaitu 5%.



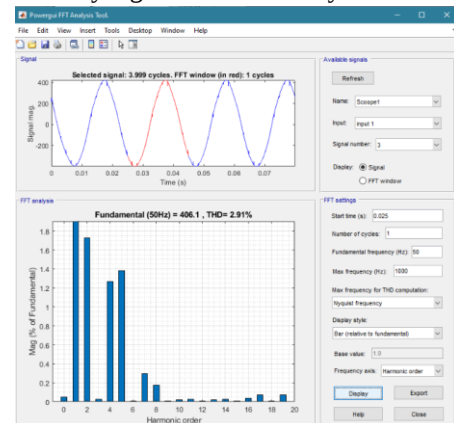
Gambar 14. THDv Fasa R Sesudah Menggunakan Filter Pasif

Berdasarkan gambar 14, nilai THDv pada fasa R menunjukkan 2,98%, berarti THDv pada fasa R sudah sesuai standar yang telah ditentukan yaitu maksimal 5%.



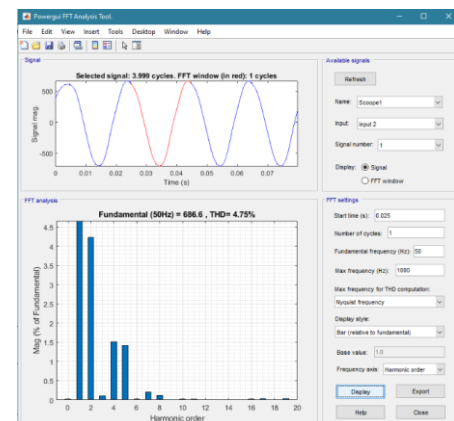
Gambar 15. THDv Fasa S Sesudah Menggunakan Filter Pasif

Berdasarkan gambar 15, nilai THDv pada fasa S menunjukkan 2,96%, berarti THDv pada fasa S sudah sesuai standar yang telah ditentukan yaitu maksimal 5%.



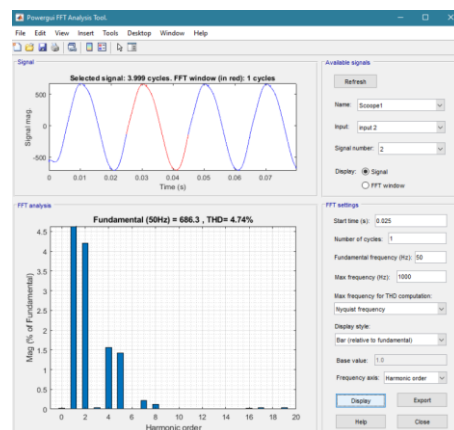
Gambar 16. THDv Fasa T Sesudah Menggunakan Filter Pasif

Berdasarkan gambar 16, nilai THDv pada fasa T menunjukkan 2,91%, berarti THDv pada fasa T sudah sesuai standar yang telah ditentukan yaitu maksimal 5%.



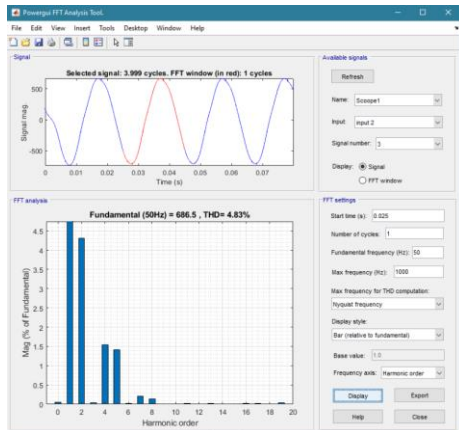
Gambar 17. THDi Fasa R Sesudah Menggunakan Filter Pasif

Berdasarkan gambar 17, nilai THDi pada fasa R menunjukkan 4,75%, berarti THDi pada fasa R sudah sesuai standar yang telah ditentukan yaitu maksimal 5%.



Gambar 18. THDi Fasa S Sesudah Menggunakan Filter Pasif

Berdasarkan gambar 18, nilai THDi pada fase S menunjukkan 4,74%, berarti THDi pada fase S sudah sesuai standar yang telah ditentukan yaitu maksimal 5%.



Gambar 19. THDi Fase T Sesudah Menggunakan Filter Pasif

Berdasarkan gambar 19, nilai THDi pada fase T menunjukkan 4,83%, berarti THDi pada fase T sudah sesuai standar yang telah ditentukan yaitu maksimal 5%.

KESIMPULAN

Setelah melakukan perhitungan, perancangan dan analisa filter pasif maka dapat diperoleh kesimpulan sebagai berikut:

1. Nilai efisiensi pada transformator di Politeknik Enjinereng Indorama sebesar 66,7% (09.00), 67% (11.00), 66,9 (14.00),
2. Penggunaan filter pasif pada perancangan tersebut mengakibatkan turunnya nilai harmonisa yang terjadi. THDv fase R sebelumnya 5,51% menjadi 2,98%, THDv fase S sebelumnya 5,52% menjadi 2,96%, THDv fase T sebelumnya 5,49% menjadi 2,91% dan THDi fase R sebelumnya 5,44% menjadi 4,75%, THDi fase S sebelumnya 5,38% menjadi 4,74%, THDi fase T sebelumnya 5,45% menjadi 4,83%.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih kepada Politeknik Negeri Bandung atas dukungan bantuan dana penelitian dan terlibat dalam Skema Penelitian Peningkatan Kapasitas Laboratorium, sesuai nomor kontrak No. B /74.8/PL1.R7/PG.00.03/2021

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Singh, Jaspreet, Sanjeev Singh, and Amanpreet Singh. "Distribution transformer failure modes, effects and criticality analysis (FMECA)." *Engineering Failure Analysis* 99 (2019): 180-191.
- [2] Zeynep, K. A. Y. A., İ. M. A. L. Nazim, and Oğuz Gökhasan. "On power transformers energy efficiency based load transfer analysis." *International Journal of Energy Applications and Technologies* 5.3 (2018): 115-118.
- [3] Wang, Jinhao, Min Zhang, Shengwen Li, Tingdong Zhou, and Huijie Du. "Passive filter design with considering characteristic harmonics and harmonic resonance of electrified railway." In 2017 8th International Conference on Mechanical and Intelligent Manufacturing Technologies (ICMIMT), pp. 174-178. IEEE, 2017.
- [4] Hidayat, Wahyu. "Analisa Pengaruh Pembebanan terhadap Efisiensi Transformator pada PLTA Wonogiri." PhD diss., Universitas Muhammadiyah Surakarta, 2020.
- [5] Aribowo, Unggul. "STUDI PENGURANGAN ARUS INRUSH TRANSFORMATOR DENGAN METODE SEQUENTIAL PHASE ENERGIZATION TANPA BEBAN MENGGUNAKAN SOFTWARE ATP-EMTP." (2019).
- [6] Manurung, Yosua Bitcar Jonathan. "Studi Analisis Keandalan dan Efisiensi Transformator Daya di Gardu Induk Denai Pt. Pln Persero." (2021).
- [7] Maryclaire Peterseon N, S.J Parviz "analisis filter pasif untuk mereduksi pengaruh harmonisa menggunakan MATLAB" university new Orlenads new
- [8] "IEEE Recommended Practices and Requirements for Harmonic Control Power System," IEEE Std 519-2014, 2014.
- [9] M.Asadi dan A.Jalilian "filter pasif untuk mereduksi dan memanfaatkan harmonisa" journal driver systems and Technology conference pada university of Science and Technology ,Iran.
- [10] H. Haziah dan Ali Syafruddin "pemasangan filter pasif dan aktif terhadap kandungan harmonisa dan rugi-rugi daya gardu distribusi" journal of Electrical Engineering dan Telecomucation Malaysia Vol.7 (2017).
- [11] Suryadi, Aris. "DAMPAK HARMONISA TERHADAP PENINGKATAN TEMPERATUR TRANSFORMATOR DISTRIBUSI 1000 kVA DI POLITEKNIK ENJINERENG INDORAMA." *Simetris: Jurnal Teknik Mesin, Elektro dan Ilmu Komputer* 8, no. 2 (2017): 421-432.