

Filter Pasif untuk Mengurangi Harmonisa Arus pada Transformator Distribusi Menggunakan Perangkat Lunak ETAP 12.6.0

Heri Budi Utomo¹, Sunarto², Nurmuhaemin³

^{1,2,3}Teknik Elektro, Politeknik Negeri Bandung, Bandung 40012

¹E-mail : iatki.hbu@gmail.com

²E-mail : soen@polban.ac.id

³E-mail : muhaemin00@gmail.com

ABSTRAK

Penyaluran energi listrik ke konsumen tidak terlepas dari penggunaan saluran transmisi dan distribusi yang mana transformator distribusi menjadi salah satu komponen utama sebagai alat penurun tegangan. Beban pada transformator distribusi diantaranya ialah rumah tinggal, yang mana hampir setiap rumah mempunyai TV dan peralatan rumah tangga berbasis elektronik yang merupakan beban non linier. Kinerja transformator distribusi diantaranya dipengaruhi oleh beban non linier, yang mana beban non linier dapat menyebabkan cacatnya gelombang sinus atau timbulnya harmonisa. Tujuan dari penelitian ini menghitung kapasitas daya transformator akibat adanya harmonisa arus, memasang filter pasif untuk meredam harmonisa pada transformator. Data trafo diambil dari jurnal yang berhubungan dengan permasalahan harmonisa pada transformator. Metode yang digunakan perancangan simulasi filter pasif pada transformator distribusi menggunakan perangkat lunak ETAP. Hasil penelitian ini adalah adanya penurunan arus harmonisa setelah dipasang filter pasif dengan nilai awal sebesar 26,29% pada transformator 1, 14,36% pada transformator 2, 24,42% pada transformator 3 yang mana nilai tersebut belum memenuhi standar IEEE 519-2014, penggunaan filter *pasif single tuned* dapat mereduksi kandungan THDI masing – masing orde menjadi 10,82% pada transformator 1, 10,17% pada transformator 2, 11,25% pada transformator 3 yang mana sudah memenuhi standar IEEE 519 – 2014. Rugi – rugi daya menurun menjadi sebesar 14,23 kW pada trafo 1, 13,23kW pada trafo 2, 13,7kW pada trafo 3.

Kata Kunci

Harmonisa, Beban non linier, Filter pasif, Transformator distribusi, perangkat lunak ETAP

1. PENDAHULUAN

Sebagian besar peralatan listrik modern terdiri dari banyak komponen elektronik. Peralatan seperti AC, printer, lampu hemat energi dapat menyebabkan distorsi arus dan tegangan yang disebut harmonisa, yang mana frekuensi arus dan tegangan adalah kelipatan dari arus dan tegangan yang dihasilkan oleh catu daya [1]. Banyaknya pengoperasian beban non-linier pada sistem tenaga listrik telah membuat arus sistem menjadi sangat terdistorsi dengan persentase kandungan THD (*Total Harmonic Distortion*) yang sangat tinggi [2]. Maka dari itu kita dapat melakukan simulasi pemasangan filter pasif pada transformator distribusi akibat harmonisa arus.

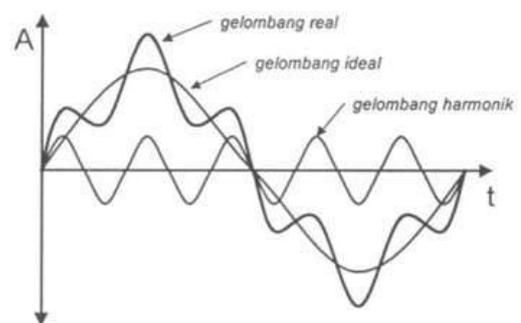
Kinerja transformator distribusi diantaranya dipengaruhi oleh beban non linier, yang mana beban non linier dapat menyebabkan cacatnya gelombang sinus atau timbulnya harmonisa. Tujuan dari penelitian ini menghitung kapasitas daya transformator akibat adanya harmonisa arus, memasang filter pasif untuk meredam harmonisa pada transformator. Data Trafo diambil dari jurnal yang berhubungan dengan permasalahan harmonisa pada transformator. Metode yang digunakan perancangan simulasi filter pasif pada transformator distribusi menggunakan perangkat lunak

ETAP. Hasil penelitian ini adalah adanya penurunan arus harmonisa setelah dipasang filter pasif.

2. TEORI DASAR

2.1 Konsep Harmonisa

Harmonisa sistem tenaga didefinisikan sebagai tegangan dan arus sinusoidal pada frekuensi yang merupakan kelipatan bilangan bulat dari frekuensi fundamental utama, yaitu 50 Hz [3].



Gambar 1. Gelombang harmonisa, gelombang real, dan gelombang ideal

Gelombang harmonisa mempunyai frekuensi yang lebih tinggi yang tidak diinginkan yang ditumpangkan

pada bentuk gelombang ideal menciptakan pola gelombang terdistorsi.

2.1.1 Pengaruh harmonisa pada transformator

Ada beberapa pengaruh yang menimbulkan distorsi arus dan tegangan ketika beban mengandung harmonisa yaitu *RMS current*, *eddy current losses*, dan *Core losses* [4].

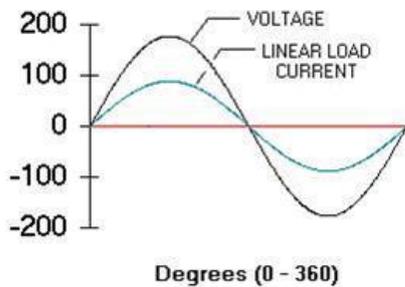
RMS current merupakan arus harmonisa yang dapat mengakibatkan arus rms transformator lebih tinggi dari kapasitasnya pada transformator ukuran beban kVA.

Rugi-rugi arus eddy adalah rugi-rugi yang terjadi pada inti besi akibat adanya arus eddy. Arus induksi yang mengalir pada kumparan dan inti besi dapat menyebabkan transformator menjadi terlalu panas. Komponen rugi-rugi ini sebanding dengan kuadrat frekuensi arus yang menyebabkan rugi-rugi arus eddy.

Core losses meningkat tergantung pada efek harmonisa pada tegangan trafo. Meningkatnya distorsi tegangan yang dapat meningkatkan arus eddy di laminasi inti.

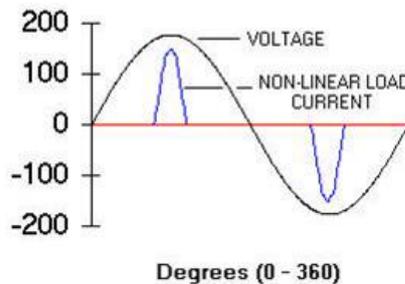
2.1.2 Beban linier dan non-linier sebagai sumber harmonisa

Dalam sistem daya, bentuk gelombang saat ini sama dengan tegangan karena arus proporsional dengan tegangan. Contoh beban linier adalah pemanas dan motor [5].



Gambar 2. Gelombang beban linier [6]

Tetapi untuk Beban non-linear bentuk gelombang saat ini dan tegangan berbeda. Contoh beban non-linear adalah UPS dan DC motor *drive* [6].



Gambar 3. Gelombang beban non-linier [6]

Bentuk gelombang saat ini tidak berkala tetapi tetap siklus yang sama untuk bersepeda. Karena jumlah gelombang sinusoidal, gelombang berkala dihasilkan.

2.1.3 Standard Harmonisa Pada Sistem Tenaga Listrik

Menurut IEEE 519-2014, nilai yang terkandung di dalamnya digunakan sebagai batas atas tegangan sistem relatif terhadap distorsi harmonik sistem yang direkomendasikan, seperti yang ditunjukkan pada tabel 1.

Tabel 1. Batas distorsi arus untuk sistem dengan rating 120 V hingga 69 kV [7]

Distorsi arus harmonisa maksimum dalam persen I_L						
I_{sc}/I_L	Urutan harmonik individu (harmonik ganjil) ^{a,b}					
	$3 \leq h < 11$	$11 \leq h < 17$	$17 \leq h < 23$	$23 \leq h < 35$	$35 \leq h \leq 50$	TDD (%)
$< 20c$	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

2.1.4 Rasio Hubung Singkat

Saat menghitung rasio hubung singkat, perlu diketahui nilai arus hubung singkat dan arus beban terlebih dahulu [8].

$$I_{sc} = \frac{kVA \times 100}{\%Z \times \sqrt{3} \times kV} \quad (1)$$

Keterangan:

I_{sc} adalah arus hubung singkat (A)

$$I_L = \frac{kW}{PF \times \sqrt{3} \times kV} \quad (2)$$

Keterangan:

I_L adalah Arus beban (A)

P adalah Daya Aktif (W)

P_F adalah Power Factor

Sehingga *Short Circuit Ratio* = $\frac{I_{sc}}{I_L}$

2.2 Rugi – Rugi Daya

2.2.1 Rugi – Rugi Daya Pada Transformator

Kerugian transformator secara teknis dapat disebut sebagai kehilangan beban (P_{LL}) [9]. Ada dua bagian saat menghitung kehilangan tekanan, yaitu rugi tembaga (I^2R) dan rugi arus eddy (P_{EC}). Dalam unit per unit (p.u) dapat menggunakan persamaan 3 untuk menghitung penurunan tekanan [10].

$$P_{LL} = \sum I_h^2 + (\sum I_h^2 \times h^2) \times P_{EC-R}(pu) \quad (3)$$

Keterangan:

P_{EC-R} adalah *eddy current loss factor*

h adalah orde harmonisa

I_h adalah arus harmonisa (A)

$\sum I_h^2$ adalah komponen dari rugi tembaga (I^2R) yang dinyatakan dalam satuan per – unit (μ)

$(\sum I_h^2 \times h^2) \times P_{EC-R}$ adalah faktor rugi *eddy current* yang dinyatakan dalam satuan per unit (μ)

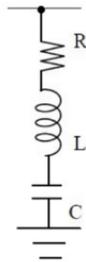
Faktor *Eddy current loss* ditunjukkan pada tabel 2.

Tabel 2. Typical Values of P_{EC-R} [10]

Type	MVA	Tegangan	$P_{EC-R}(\%)$
Dry	≤ 1	-	3 - 8
	≤ 1.5	5kV (<i>High Voltage</i>)	12 - 20
	≤ 1.5	15kV (<i>High Voltage</i>)	9 - 15
Oil – filled	≤ 2.5	480V (<i>Low Voltage</i>)	1
	$\leq 2.5 - 5$	480V (<i>Low Voltage</i>)	1 - 5
	> 5	480V (<i>Low Voltage</i>)	9 - 15

2.3 Filter Pasif Single Tuned

Filter ini terutama dikembangkan untuk menghilangkan harmonisa arus yang tidak diinginkan dalam jaringan.



Gambar 4. Rangkaian Filter Pasif Single Tuned [11]

Parameter utama yang harus dipertimbangkan saat memilih R, L, C saat mendesain filter pasif adalah faktor kualitas (Q). Nilai ini menentukan kejelasan pengaturan. Dalam urutan harmonisa frekuensi rendah, Q biasanya antara 30 dan 60 [11].

Keuntungan penggunaan filter pasif: [11]

- Desain sederhana dan murah
- Filter yang terhubung dengan beban dapat difungsikan sebagai kompensator energi reaktif.

Kekurangan penggunaan filter pasif: [11]

- Impedansi sumber mempengaruhi karakteristik kompensasi filter
- Sensitif terhadap perubahan komponen LC dan variasi frekuensi pada jaringan
- Dapat menyebabkan resonansi seri dan paralel dengan impedansi jaringan yang malah mengakibatkan penguatan harmonisa pada frekuensi tertentu.

2.4 Perancangan Filter

Menentukan nilai kapasitas kapasitor filter disesuaikan dengan kebutuhan kompensasi faktor daya pada sistem tenaga listrik [12].

$$Q_c = P(\tan \theta_1 - \tan \theta_2) \quad (4)$$

Keterangan :

- P = daya beban non-linier (kW)
 Θ_1 = faktor daya pada sistem
 Θ_2 = faktor daya normal
 Q_c = perbaikan faktor daya

Menentukan nilai kapasitor

$$X_C = \frac{V^2}{Q_C} \quad (5)$$

$$C = \frac{1}{2\pi f X_C} \quad (6)$$

Nilai induktor dicari berdasarkan prinsip resonansi

$$X_L = \frac{X_C}{h_n^2} \quad (7)$$

$$L = \frac{X_L}{2\pi f} \quad (8)$$

Menentukan nilai resistor

$$R = \frac{n \cdot X_L}{Q} \quad (9)$$

Keterangan:

- C = nilai kapasitor
V = tegangan pada saluran (kV)
 Q_c = perbaikan faktor daya
 X_C = nilai kapasitor pada simulasi
f = frekuensi fundamental (Hz)
L = nilai induktor
n = nilai orde harmonisa yang akan di eliminasi
 X_L = nilai induktor pada simulasi
Q = ukuran ketajaman filter
R = nilai resistor

2.5 ETAP 12.6.0

ETAP adalah perangkat lunak yang kompatibel dengan daya. Perangkat ini dapat menyimulasikan konsumsi listrik secara *offline* dan mengelola data secara *online* secara *real time*, analisis harmonisa dalam ETAP menyediakan fungsi pemodelan, pemodelan, dan analisis fenomena harmonik pada sistem tenaga.

3. METODE PENELITIAN

3.1 Studi Literatur

Merupakan tahapan pencarian teori dasar yang mendukung untuk jurnal IRWNS, mencari referensi baik dalam bentuk buku, jurnal maupun karya tulis.

3.2 Pengumpulan Data

Pengumpulan data diambil dari jurnal tentang analisa pengaruh harmonisa pada transformator distribusi secara *online*, yang diambil antara lain: tegangan, arus, frekuensi, kapasitas daya, nilai rms trafo, THD transformator.

3.3 Perhitungan Data

Data yang sudah dikumpulkan kemudian dihitung untuk mengetahui nilai harmonisa pada transformator tersebut. Kemudian hasil yang sudah didapatkan akan dilakukan analisa apakah berpengaruh terhadap efisiensi energi listrik.

3.4 Simulasi Pemasangan Filter Pasif pada Transformator menggunakan ETAP 12.6.0

Setelah dilakukan perhitungan data untuk mengetahui dampak harmonisa sebelum dipasang filter pasif kemudian disimulasikan pemasangan filter pasif untuk mengurangi harmonisa arus pada transformator menggunakan ETAP 12.6.0.

3.5 Tahapan Kesimpulan

Setelah dilakukan perhitungan data, hasilnya dianalisis dan disimulasikan pada perangkat lunak ETAP 12.6.0 kemudian didapatkan hasil dan kesimpulannya.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil Pengukuran Beban Pada Transformator

Ada 3 buah transformator distribusi yang digunakan untuk pengumpulan data serta arus dan tegangan THD (*Total Harmonic Distortion*) dari setiap fasa R, S, dan T. Kemudian, pada data pengukurannya diambil selama satu hari yakni pada hari senin ketika hari kerja, mempunyai data sebagai berikut:

Tabel 3. Hasil Pengukuran Transformator [1]

Trafo	F (Hz)	I _L (A)	V (Volt)
1	50	241,59	400
2	50	246,32	
3	50	237,94	

4.2 Rasio Hubung Singkat

Arus hubung singkat (I_{SC}) dapat di hitung dengan pers. 1. Diketahui transformator 1:

$$\begin{aligned} I_L &= 241,59 \text{ A} \\ Z &= 6\% \\ V &= 0,4\text{kV} \\ S &= 1600\text{kVA} \end{aligned}$$

$$I_{SC} = \frac{1600 \times 100}{6 \times \sqrt{3} \times 0,4} = 38490\text{A}$$

$$\text{Rasio hubung singkat} = \frac{38490}{241,59} = 159,32$$

Jadi, berikut nilai arus hubung singkat dan rasio hubung singkat ke – 3 transformator distribusi.

Tabel 4. Perhitungan arus hubung singkat tiap trafo.

Transformator 1		Transformator 2		Transformator 3	
I _{SC} (A)	Rasio _{SC}	I _{SC} (A)	Rasio _{SC}	I _{SC} (A)	Rasio _{SC}
38490	159,32	38490	156,26	38490	161,76

Hasil perhitungan menunjukkan bahwa hasil relatif hampir sama, sehingga *standar* yang digunakan menurut IEEE *standar* 519-2014.

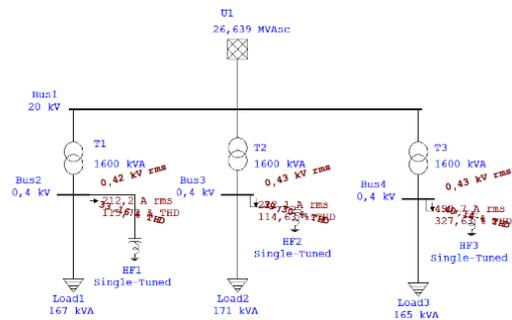
$$\begin{aligned} I_{SC} / I_L &= 100 < 1000 \\ THD_I &= 15\% \\ \text{Orde} < 11 &= 12\% \\ \text{Orde } 11 - 17 &= 5,5\% \\ \text{Orde } 17 - 23 &= 5,0\% \\ \text{Orde } 23 - 35 &= 2,0\% \end{aligned}$$

4.3 Hasil Simulasi Menggunakan ETAP 12.6.0

Data hasil *running* menunjukkan kandungan harmonisa pada transformator sebagai berikut.

Tabel 5. Hasil pengukuran THD_I pada trafo [1].

Trafo	THD _I	Standar	Keterangan
1	26,29%	15%	> Standar
2	14,36%		< Standar
3	24,42%		> Standar



Gambar 5. Simulasi pada ETAP 12.6.0

4.4 Rugi – Rugi Daya Sebelum Pemasangan Filter Pasif

Berdasarkan hasil *running* harmonisa, dapat di dapatkan nilai rugi – rugi sistem distribusi pada ke – 3 trafo setelah terpengaruh harmonisa.

$$\begin{aligned} S &= 1600 \text{ kVA} \\ \text{Cos } \varphi &= 0,80 \end{aligned}$$

$$P_{\text{base satu fasa}} = \frac{S \cdot \text{cos } \varphi}{\sqrt{3}} = \frac{1600 \cdot 0,8}{\sqrt{3}} = 739 \text{ kW}$$

Rugi – rugi daya pada trafo setelah terpengaruhi harmonisa sebagai berikut.

Untuk orde 1

$$I_{h1} (\text{pu}) = \frac{I_{h1}}{I_1} = \frac{241,59}{241,59} = 1,000 \text{ pu}$$

Menggunakan cara yang sama, maka diperoleh arus harmonisa dalam satuan per-unit, seperti yang ditunjukkan pada tabel 6, 7, dan 8.

Tabel 6. Perhitungan *losses* pada transformator 1

Orde	I _h (A)	I _h (pu)	I _h ²	I _h ² x h ²
1	241,59	1	1	1
3	2,11	0,00873	0,000076	0,000686514
5	1,77	0,00733	0,000054	0,001341926
7	1,5	0,00621	0,000039	0,001888951
9	1,2	0,00497	0,000025	0,002
11	0,64	0,00265	0,000007	0,000849156
13	0,53	0,00219	0,000005	0,000813356
15	0,41	0,00170	0,000003	0,000648026
17	0,36	0,00149	0,000002	0,000641719
19	0,78	0,00323	0,000010	0,003763037
21	0,79	0,00327	0,000011	0,004715577
23	0,98	0,00406	0,000016	0,008704622
25	0,89	0,00368	0,000014	0,008482075
27	0,24	0,00099	0,000001	0,000719436
29	0,35	0,00145	0,000002	0,00176512
JUMLAH			1,000264	1,037017948

Tabel 7. Perhitungan *losses* pada transformator 2

Orde	I _h (A)	I _h (pu)	I _h ²	I _h ² x h ²
1	246,32	1	1	1
3	1,22	0,00495	0,000025	0,000220782
5	1,14	0,00463	0,000021	0,000535489
7	0,52	0,00211	0,000004	0,000218375
9	0,52	0,00211	0,000004	0,00036
11	0,44	0,00179	0,000003	0,000386093
13	0,41	0,00166	0,000003	0,000468226
15	0,48	0,00195	0,000004	0,000854409
17	0,47	0,00191	0,000004	0,00105219
19	0,33	0,00134	0,000002	0,000647941
21	0,34	0,00138	0,000002	0,000840228
23	0,36	0,00146	0,000002	0,001129955
25	0,38	0,00154	0,000002	0,001487469
27	0,32	0,00130	0,000002	0,001230348
29	0,28	0,00114	0,000001	0,001086708
JUMLAH			1,000079	1,0105192

Tabel 8. Perhitungan *losses* pada transformator 3

Orde	I _h (A)	I _h (pu)	I _h ²	I _h ² x h ²
1	237,94	1	1	1
3	1,82	0,00765	0,000059	0,000526563
5	1,68	0,00706	0,000050	0,001246303
7	1,39	0,00584	0,000034	0,001672221
9	0,98	0,00412	0,000017	0,00137
11	0,95	0,00399	0,000016	0,001928846
13	0,64	0,00269	0,000007	0,001222677
15	0,54	0,00227	0,000005	0,001158871
17	0,66	0,00277	0,000008	0,00222357
19	0,44	0,00185	0,000003	0,001234462
21	0,47	0,00198	0,000004	0,001720677
23	0,35	0,00147	0,000002	0,001144608
25	0,33	0,00139	0,000002	0,00120219
27	0,28	0,00118	0,000001	0,001009505
29	0,25	0,00105	0,000001	0,000928413
JUMLAH			1,000209	1,018592944

Berdasarkan tabel 6, 7, dan 8 dapat dianalisa bahwa nilai *losses* tiap transformator rata – rata nilai 1 karena orde 1 yang merupakan nilai pada frekuensi 50Hz sehingga saat perhitungan rugi – rugi beban tidak

memasukan nilai pada orde 1. Rugi – rugi beban dapat dihitung menggunakan Persamaan 3 sebagai berikut.

Perhitungan pada transformator 1:

$$P_{LL} = \sum I_h^2 + (\sum I_h^2 x h^2) x P_{EC-R} (pv)$$

$$P_{LL} = 1,000264 + 1,037017948 x 0,01 = 1,010634518 p.u$$

Sehingga rugi – rugi I²R bertambah sebesar 0,000264 p.u dan rugi *eddy current* bertambah sebesar 0,010370179 p.u.

Rugi Tembaga:

$$P_{CU} = \sum I_h^2 x P_{base \text{ satu fasa}}$$

$$P_{CU} = 0,000264 p.u x 739 \text{ kW} = 0,195 \text{ kW}$$

Rugi *eddy current*:

$$P_i = (\sum I_h^2 x h^2) x P_{EC-R} x P_{base \text{ satu fasa}}$$

$$P_i = 0,010370179 p.u x 739 \text{ kW} = 0,273 \text{ kW}$$

Jadi penambahan *losses*.

$$P_{LL} = 3.(P_{CU} + P_i)$$

$$P_{LL} = 3(0,195 + 0,274) = 1,407 \text{ kW}$$

Total rugi – rugi pada transformator distribusi sebelum pemasangan filter yaitu 21,1 kW (rugi – rugi trafo tanpa beban) + 1,4 kW (rugi – rugi trafo dengan beban non – linier) menjadi 22,5 kW

Tabel 9. Total rugi – rugi tiap transformator

Total Rugi – Rugi pada Transformator		
Trafo 1 (kW)	Trafo 2 (kW)	Trafo 3 (kW)
22,51	21,51	21,98

Berdasarkan tabel 9 dapat dianalisa bahwa rata – rata 22 kW pada tiap transformator karena penjumlahan rugi – rugi transformator tanpa beban dengan rugi – rugi transformator dengan beban non – linier, sehingga ketika dijumlahkan mendapatkan nilai rugi – rugi pada transformator yang cukup besar.

4.5 Perancangan Filter Pasif

Terlebih dahulu kita harus menentukan orde harmonisa yang akan dieliminasi yaitu terletak pada orde ke – 7. Perhitungan dapat dilihat sebagai berikut.

Perhitungan pada Transformator 1:

$$\begin{aligned} Q_C &= P (\tan \theta_1 - \tan \theta_2) \\ &= 133 (0,75 - 0) \\ &= 100 \text{ kVAR} \end{aligned}$$

Nilai kapasitor pada simulasi dapat dihitung dengan pers. 6 dan 7.

$$X_C = \frac{V^2}{Q_C} = \frac{400^2}{100000} = 1,6 \Omega$$

$$C = \frac{1}{2\pi f X_C} = \frac{1}{2.3.14.50.1.6} = 1,99 \times 10^{-3} F = 1990 \mu F$$

Nilai induktor pada simulasi dapat dihitung dengan pers. 8 dan 9 sebagai berikut.

$$L = \frac{1}{(C)(2\pi fn)^2} = \frac{1}{(1,99 \times 10^{-3})(2,3,14,50,7)^2} = 1,04 \times 10^{-4} H$$

$$X_L = 2\pi fL = 2 \cdot 3,14 \cdot 50 \cdot 1,04 \times 10^{-4} = 0,0326 \Omega$$

Nilai resistor pada simulasi dapat dihitung dengan pers. 10 sebagai berikut.

Perancangan filter pasif, nilai Q yang digunakan adalah 20 karena distorsi harmonisa yang besar terdapat pada orde 20 ke bawah.

$$R = \frac{n \cdot X_L}{Q} = \frac{7 \cdot 0,0326}{0,6} = 0,450 \Omega$$

Sehingga komponen filternya tiap transformator sebagai berikut.

Tabel 10. Nilai komponen filter

Parameter	Trafo 1	Trafo 2	Trafo 3
	Nilai	Nilai	Nilai
Qc (kVAR)	100	102	98
Xc (Ω)	1,6	1,56	1,63
C (μF)	1990	2041	1953
L (H)	3,16 x 10 ⁻⁷	1,01 x 10 ⁻⁴	1,05 x 10 ⁻⁴
XL (Ω)	1,04 x 10 ⁻⁴	0,031	0,032
R (Ω)	0,450	0,361	0,037

Nilai komponen filter digunakan untuk menentukan parameter pada komponen filter pasif *single tuned* sehingga nantinya dapat mereduksi arus harmonisa pada tiap transformator.

4.6 Analisa Sebelum dan Sesudah Pemasangan Filter Pasif

Hasil simulasi sebelum dan sesudah pemasangan filter pasif pada transformator dengan perangkat lunak ETAP 12.6.0 serta perbandingan terhadap standar IEEE 519-2014.

Tabel 11. Kandungan THD₁ pada transformator distribusi

Trafo	Standard IEEE 519 - 2014	Tanpa Filter	Filter Pasif
1	15%	26,29%	10,82%
2		14,36%	10,17%
3		24,42%	11,25%

Tabel 11 menunjukkan penggunaan filter pasif THD arus dapat menurunkan 15,47% (transformator 1), 4,26% (transformator 2), 13,17% (transformator 3) pada ketiga transformator sudah memenuhi standar IEEE 519 – 2014.

Tabel 12. Rugi – rugi daya tiap transformator

Trafo	Rugi – rugi daya	
	Tanpa filter pasif (kW)	Dengan filter pasif (kW)
1	22,51	14,23
2	21,51	13,23
3	21,98	13,7

Tabel 12 menunjukkan penggunaan filter pasif *single tuned*, rugi – rugi daya tiap transformator dapat menurunkan 8,28 kW.

5. SIMPULAN DAN SARAN

5.1 Simpulan

Kandungan THD₁ pada transformator distribusi sebelum menggunakan filter pasif *single tuned* sebesar 26,29% pada trafo 1, 14,36% pada trafo 2, 24,42% pada trafo 3 yang mana nilai tersebut belum memenuhi standar IEEE 519-2014 lalu untuk rugi – rugi daya sebesar 22,51 kW pada trafo 1, 21,51 kW pada trafo 2, 21,98 kW pada trafo 3. Penggunaan filter *pasif single tuned* dapat mereduksi kandungan THD₁ masing – masing orde menjadi 10,82% pada trafo 1, 10,17% pada trafo 2, 11,25% pada trafo 3 yang mana sudah memenuhi standar IEEE 519 – 2014. Rugi – rugi daya menurun menjadi sebesar 14,23 kW pada trafo 1, 13,23kW pada trafo 2, 13,7kW pada trafo 3.

5.2 Saran

Penelitian selanjutnya perlu dikembangkan penambahan filter aktif atau filter hybrid serta perlu menentukan metode untuk dapat memunculkan nilai THD₁ pada setiap fasa di *software* ETAP.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] M. S. Reza, C. Hudaya, “Analisis Pengaruh Harmonisa Pada Transformator Distributor di Hari Kerja dan Hari Libur Pada Gedung Perkantoran,” Jurnal Tambora., vol. 5, no. 1, pp. 72 – 79, Februari 2021.
- [2] Peryaazhagar. D, et al, “A Survey of Harmonic Distortion and Reduction Techniques,” International Journal of Pharmacy & Technology., vol. 8, no. 4, pp. 23581 – 23589, Dec 2016.
- [3] S. Suryakusuma, et al, “ Conceptual Design for Mitigating Harmonic Distortion on ESP Installation: Case Study in Kaji Semoga Field, Medco E&P Indonesia,” Jurnal Sutet, vol. 7, no. 1, pp. 19 – 23, Mei 2017.
- [4] D. Pejovski, et al, “ Impact of Different Harmonic Loads on Distribution Transformers,” Procedia engineering, pp. 76 – 87, 2017.
- [5] Pejovski, D., Najdenkoski, K., & Dugalovski, M. (2017). Impact of different harmonic loads on distribution transformers. Procedia engineering, 202, 76-87.
- [6] Hameed, Zia, et al, “Harmonics in Electrical Power Systems and how to remove them by using filters in ETAP,” Proc. ICEET, April 2016.

- [7] "IEEE Recommended Practices and Requirements for Harmonic Control Power System," IEEE Std 519-2014, 2014.
- [8] I. G. Ariana, et al,"Analisis Pengaruh Harmonisa Terhadap Rugi – Rugi Daya (Losses) Pada Transformator di Penyulang Sedap Malam," Jurnal Teknologi Elektro, vol. 16, no. 1, pp. 97 – 106, April 2017.
- [9] R. C. Dugan, et al, "Electrical Power System Quality," Second Edition. USA: The McGraw-Hill Companies, 2004.
- [10] I. P. A. Wirajaya, et al, "Studi Pengaruh Total Harmonic *Distortion* (THD) terhadap Rugi – rugi, dan Kapasitansi Kerja Transformator pada Penyulang Kerobokan," Jurnal Spektrum, vol. 6, no. 2, pp. 121 – 129, Juni 2019.
- [11] Mustamam,"Penggunaan Passive Filter Single Tuned untuk Mereduksi Harmonisa pada Juicer," Jurnal of Electrical Technology, vol. 2, no. 3, pp. 54 – 60, Oktober 2017.
- [12] I. P. A. Aryawan, et el,"Analisis Pemasangan Filter Pasif dan Aktif Terhadap Kandungan Harmonisa dan Rugi – Rugi Daya Gardu Distribusi KA 2085 di PT. PLN (Persero) Distribusi Bali Rayon Mengawi," Jurnal Spektrum, vol. 5, no. 1, pp. 41 – 48, Juni 2018.