

ANALISIS EFISIENSI TRAFODAYA TERHADAP PENGOPERASIAN BEBERAPA JENIS *HARMONIC FILTER*

A.A Gede Maharta Pelayun.¹, I Nym B udiastara², I W Rinas³
Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Udayana
maharta.pelayun@unud.ac.id¹, budiastara@unud.ac.id², rinas@unud.ac.id³

ABSTRAK

Beban nonlinier merupakan salah satu penyebab munculnya harmonisa pada system utility. Untuk meredam distorsi harmonisa yang muncul biasanya pada system utility dioperasikan *Harmonic Filter* seperti : filter pasif, filter aktif, filter hybrid seri dan filter hybrid shunt. Distorsi harmonisa yang terjadi akan dapat meningkatkan *losses* pada system utilitinya. *Losses* yang muncul akan berpengaruh terhadap Efisiensi trafo Daya yang dioperasikan. Dari hasil analisa didapatkan urutan filter terbaik sampai terburuk efisiensinya adalah filter hybride ($\eta = 97,26\%$), filter aktif ($\eta = 96,72\%$) dan filter pasif ($\eta = 95,73\%$).

Kata kunci : *Losses, Harmonic Filter, trafo daya dan efisiensi*

ABSTRACT

Nonlinear load is one of the causes of harmonics in utility systems. To reduce harmonic distortion that appears, usually in utility systems, Harmonic Filters are operated such as: passive filters, active filters, series hybrid filters and hybrid shunt filters. Harmonic distortion that occurs will increase losses in the utility system. Losses that appear will affect the efficiency of the Power transformer being operated. From the analysis results, the order of the best to worst filter efficiency is hybride filter ($\eta = 97.26\%$), active filter ($\eta = 96.72\%$) and passive filter ($\eta = 95.73\%$).

Keywords: *Losses, Harmonic Filter, power transformer and efficiency*

1. PENDAHULUAN

Trafo merupakan peralatan listrik statis yang sangat penting peranannya dalam sistem tenaga listrik., berfungsi sebagai penurun tegangan (*step-down*) maupun sebaliknya. Terdapat beberapa faktor yang menimbulkan gangguan teknis pada trafo salah satunya dapat disebabkan oleh distorsi harmonisa. Harmonisa yang timbul pada trafo disebabkan oleh penggunaan beban-beban nonlinier yang berakibat langsung pada kualitas dayanya. Permasalahan harmonisa menjadi hal yang perlu diwaspadai karena memberikan implikasi negatif terhadap sistem.

Beban nonlinier memiliki bentuk gelombang yang tidak sinusoidal karena telah terdistorsi oleh harmonisa yang ditimbulkan akibat penggunaan perangkat *static switching* seperti *diode, thyristor,*

mosfet yang banyak digunakan pada peralatan rumah sakit seperti komputer, pendingin ruangan (AC), mikroskop, *dialyzer, hematology analyzer, blood analyzer,* dan berbagai peralatan medis lainnya [1][2]

Tingkat distorsi gelombang akibat harmonisa disebut dengan *Total Harmonic Distortion (THD)* yang umumnya dinyatakan dalam satuan persen (%) [5]. *THD* pada trafo yang tinggi (melebihi standar), dapat dikategorikan sebagai gangguan sistem, karena dapat menimbulkan *overheating*, peningkatan *losses*. Semakin tinggi *THD*-nya maka semakin besar *losses* sehingga efisiensi transformator akan semakin menurun [3][8].

Berdasarkan penelitian – penelitian sebelumnya yang terkait dengan harmonisa menyimpulkan bahwa komponen harmonisa dapat menyebabkan terjadinya

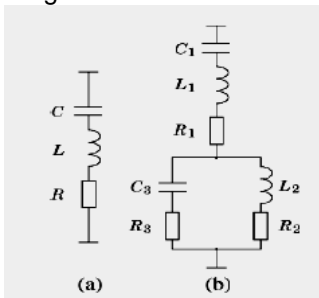
peningkatan losses [1][2][3]. Untuk mereduksi distorsi harmonisa yang terjadi umumnya digunakan *Harmonic Filter* seperti: filter aktif, filter pasif, filter hybride. *Harmonic filter* memiliki kemampuan mereduksi harmonisa berbeda-beda[4][6][7]. Dengan diopersikannya filter pada system akan mengakibatkan turunnya *THDi (harmonisa arus)* sehingga akan menurunkan pula *losses* yang terjadi, sehingga akan berakibat pula terjadinya perubahan pada efisiensi trafonya. Untuk menganalisa *THDi* yang muncul akibat pengoperasian beban nonlinier digunakan Simulink Matlab.

2.FILTER HARMONISA , LOSSES DAN η (EFESIENSI) TRAF0

Fungsi utama dari *Harmonic Filter* adalah untuk menurunkan amplitude arus atau tegangan pada frekuensi tertentu. Pada saat digunakan untuk mencegah frekuensi tertentu dari pemasukan komponen sangatlah mungkin menggunakan rangkaian penyaring (*Filter*) yang berisi induktor paralel dan kapasitor.

2.1 Filter Pasif

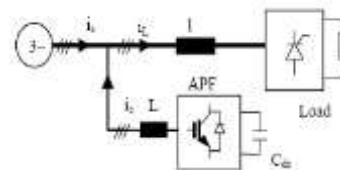
Rangkaian *Passive Filter* terdiri dari komponen R, L, dan C. *Passive Filter* banyak digunakan untuk mengkompensasi kerugian daya reaktif akibat adanya harmonisa. Filter pasif terdiri dari elemen induktansi, kapasitansi dan resistansi (RLC). Rangkaian tapis pasif pelewat rendah yang terdiri dari komponen induktan L, tahanan dalam R dan kapasitor C, maka kualitas atau ketajaman penalaan tapis sangat dipengaruhi oleh faktor kualitas (*quality factor*) Q. Filter pasif tersusun dari kapasitor dan induktor yang bekerja pada frekuensi yang di serttingkan dengan cara menahan sebahagian frekuensi sesuai dengan rancangan filter.



Gambar 1 Passive tuned filters. (a) single tuned. (b) double tuned [4]

2.2 Filter aktif

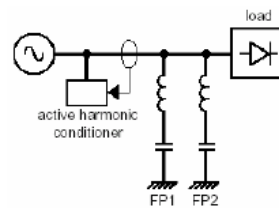
Pemakaian Filter Aktif pada sistem tenaga listrik lebih fleksibel daripada Filter Pasif karena dari segi penggunaan dan unjuk kerja Filter. Filter Aktif biasanya menggunakan perangkat *switching* berupa pengatur modulasi lebar pulsa tegangan atau arus yang disebut *Pulse Width Modulation Voltage Source Inverter (PWM VSI)* atau *Current Source Inverter (PWM CSI)* yang dihubungkan ke level sistem tegangan rendah dan juga tegangan tinggi tergantung pada permasalahan kualitas daya [6].



Gambar 2. Shunt active power filter [6]

2.3 Filter Hybrid

Struktur Kombinasi Paralel Filter Pasif dan Filter Aktif adalah hubungan (paralel) satu filter pasif atau lebih dengan filter aktif yang dirangkai paralel seperti gambar 3



Gambar 31 Rangkaian Paralel Filter Pasif Dengan Filter Aktif [7]

2.4 Losses akibat Harmonisa

Untuk menghitung losses akibat harmonisa dapat menggunakan persamaan:

$$I_{hI_phasaR} (p.u) = \frac{I_{hl}}{I_1} (p.u) \tag{1}$$

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

$$P_{EC} = K_{EC} \cdot I^2 \cdot h^2 \tag{3}$$

$$P_{LL} = I^2 \cdot R + P_{EC} \tag{4}$$

$$Daya\ Input = S \times \cos \phi_{rata-rata} \tag{5}$$

Dimanan :

P_{EC-R} = Faktor eddy current loss ; h = orde harmonisa ; I_h = Arus harmonis

2.5 Efisiensi Trafo

Suatu trafo memiliki tingkat efisiensi yang sangat tinggi hingga mencapai 99,5% atau lebih. *Real power losses* (Rugi-rugi daya nyata) biasanya kurang dari 0,5% dari kVA *rating* trafo pada saat beban puncak [8].

Tingkat efisiensi suatu transformator dapat dihitung dengan menggunakan persamaan sebagai berikut [9] :

$$\begin{aligned} \%Efficiency &= \left[\frac{Daya\ Input - \sum Rugi\ Total}{Daya\ Input} \right] \times 100\% \\ &= \left[\frac{Daya\ Input}{Daya\ Input} - \frac{\sum Rugi\ Total}{Daya\ Input} \right] \times 100\% \\ &= \left[1 - \frac{\sum Rugi\ Total}{Daya\ Input} \right] \times 100\% \end{aligned} \quad (6)$$

3. METODOLOGI PENELITIAN

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah melakukan pengukuran : tegangan kerja (V) , arus beban penuh (I_L), cos φ dan THDi dengan alat-alat ukur volt meter, amper meter, cos φ meter dan tang amper. Selanjutnya menganalisa permasalahan yang muncul dengan melakukan simulasi menggunakan Simulink Matlab. Analisis dalam penelitian ini dilakukan dalam beberapa tahapan seperti :

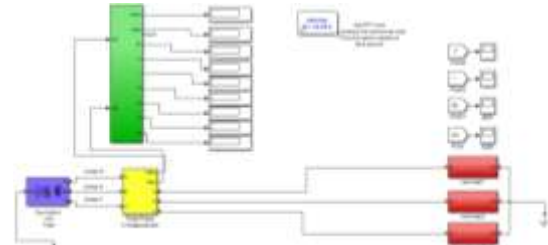
- i. Menghitung total kapasitas daya aktif dan daya semu .
- ii. Menghitung arus hubung singkat, arus beban penuh dan SC_{ratio} pada system.
- iii. Membuat model system dengan jenis-jenis filter yang dioperasikan.
- iv. Membuat simulasi pada kondisi *existing*.
- v. Mensimulasikan system dengan kondisi pengoperasian beberapa jenis filter.
- vi. Membandingkan THDi yang didapatkan dari perhitungan SC_{ratio} dengan standar IEEE 519 – 2014 dari hasil simulasi.
- vii. Menganalisa rugi-rugi daya listrik trafo akibat harmonisa .
- viii. Menganalisa Efisiensi trafo dari pengoperasian harmonic filter.
- ix. Membuat kesimpulan.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

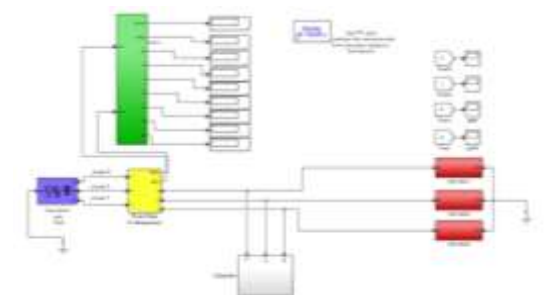
4.1 Pemodelan Sistem

Pemodelan sistem dibuat untuk merepresentasikan kondisi dilapangan

untuk tujuan simulasi, sehingga akan didapatkan hasil yang diinginkan. Gambar 4 dan 5 menampilkan pemodelan system pada kondisi eksisting dan dengan filter aktif :



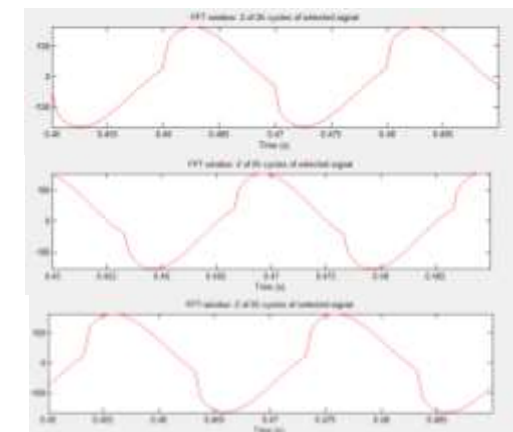
Gambar 4 Pemodelan kondisi Existing



Gambar 5 Pemodelan kondisi dng filter aktif

4.2 Simulasi untuk masing masing kondisi

A. Kondisi Existing:

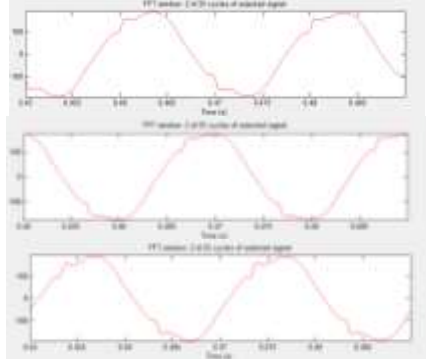


Gambar 6 Bentuk gelombang yg terdistorsi untuk pasa R, S dan T

Pada kondisi existing adalah kondisi dengan tidak mengoperasikan salah satu filter (kondisi sebenarnya). Simulasi menghasilkan THDi dari masing-masing pasa adalah: pasa R = 16,20 %; S = 13,8 % ; T = 16,48 %. Bentuk gelombang THDi yang terdistorsi seperti gambar 6.

B. Dengan Filter Pasif:

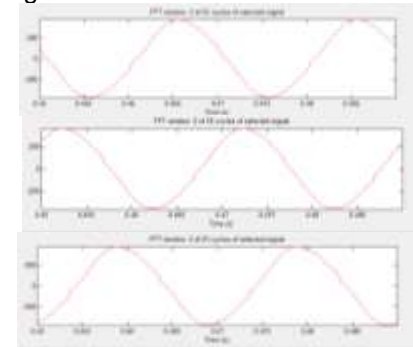
Hasil simulasi dengan menoperasikan filter pasif didapatkan THDi untuk masing-masing pasa adalah: pasa R = 8,70 %; S = 6,74 %; T = 9,09 %. Bentuk gelombang THDi yang terdistorsi seperti pada gambar 7



Gambar 7 Bentuk gelombang yg terdistorsi untuk pasa R, S dan T

C. Dengan Filter Hybride

Hasil simulasi dengan menoperasikan filter Hybride didapatkan THDi untuk masing-masing pasa adalah: pasa R = 3,74 %; S = 2,84 %; T = 3,91 %. Bentuk gelombang THDi yang terdistorsi seperti pada gambar 8.



Gambar 8 Bentuk gelombang yg terdistorsi untuk pasa R, S dan T

4.2 Losses akibat Harmonisa

Hasil analisa standar THDi pada system didapatkan 8 %. THDi hasil simulasi untuk masing-masing kondisi dapat dilihat seperti table 1.

Tabel 1 THDi hasil simulasi dari masing-masing kondisi system

No	Kondisi Sistem	THDi %		
		R	S	T
1	Existing	16,2	13,28	16,48
2	Filter Pasif	8,7	6,74	9,09
3	Filter Ajktif	6,28	4,96	6,43
4	Filter Hybride	3,74	2,84	3,91

Dengan kapasitas trafo 200kVA dan Cos ϕ 0,89, maka daya input dapat dihitung:

$$Daya\ Input_{trafo\ 1} = 200\ kVA \times 0,89 = 179,44\ kW$$

Dengan menggunakan persamaan (2)(4)(5) dapat ditentukan *Load losses* , total losses dan Daya input (Pin) seperti table 2 berikut:

Tabel 2 Losses tanpa beban, losses akibat distorsi harmonisa dan daya input.

No	Kondisi Sistem	P_i+P_{cu} (kW)	Losses THDi (kW)	Total Losses (kW)
1	Existing	0,624	112,98	12,604
2	Filter Pasif	0,624	7,032	7.656
3	Filter Aktif	0,624	5,256	5,88
4	Filter Hybride	0,624	4,29	4,914

Dengan menggunakan persamaan (6) Efisiensi (η) dari masing-masing kondisi system dapat dihitung seperti table 3 berikut:

Tabel 3 Efisiensi dari masing-masing kondisi system.

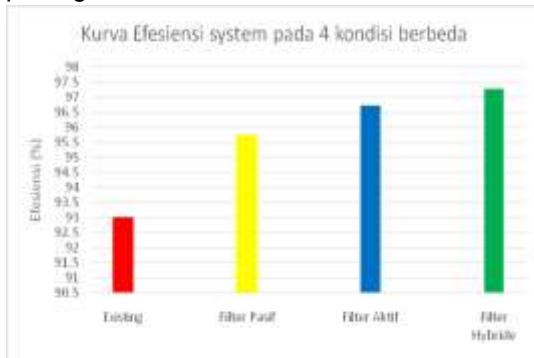
No	Kondisi Sistem	Total Losses (kW)	P_{input} (%)	Efisiensi (%)
1	Existing	12,604	179,44	92,98
2	Filter Pasif	7.656	179,44	95.73
3	Filter Ajktif	5,88	179,44	96,72
4	Filter Hybride	4,914	179,44	97,26

4.3 Analisa system

Simulasi dibuat dalam empat model yaitu kondisi eksisting, kondisi dengan filter pasif, kondisi dengan filter aktif dan kondisi dengan filter hybrid. Hasil simulasi untuk masing-masing kondisi THDinya didapat seperti berikut: Kondisi eksisting untuk pasa R = 16,2 %; S = 13,28 %; T = 16,48 %.

Dengan filter pasif THDnya : R = 8,7 %; S = 6,74; T = 9,09 %. Dengan filter aktif THDnya : R = 6,28 %; S = 4,96 %; T = 6,43 % dan Filter hybrid THDnya : R = 3,74 %; S = 2,84 %; T = 3,91 %.

Efisiensi untuk empat kondisi yaitu: dengan tanpa filter $\eta = 92,98\%$ (warna merah); dengan filter pasif $\eta = 95,73\%$ (warna kuning); dengan filter aktif $\eta = 96,72\%$ (warna biru) dan dengan filter hybrid $\eta = 97,26\%$ (warna hijau) seperti diperlihatkan pada gambar 9.



Gambar 9. Kurva efisiensi untuk empat kondisi berbeda

5.KESIMPULAN

Dari hasil simulasi yang dilakukan dapat disimpulkan, pada kondisi eksisting memiliki THDi paling tinggi yaitu: R = 16,2 %; S = 13,28 %; T = 16,48 %. Kemudian dengan filter pasif: R = 8,7 %; S = 6,74; T = 9,09 % , filter aktif : R = 6,28 %; S = 4,96 %; T = 6,43 % dan filter hybrid R = 3,74 %; S = 2,84 %; T = 3,91 %. THDi pada kondisi eksisting dan dengan filter pasif belum memenuhi standar (8 %), sedangkan filter aktif dan hybrid sudah memenuhi standar.

Efisiensi dengan tanpa filter 92,98 %, dengan filter pasif 95,73 % , dengan filter aktif 96,72 % dan dengan filter hybrid 97,26 % . Dengan filter hybrid memiliki efisiensi terbaik.

6. DAFTAR PUSTAKA

- [1] De La Rosa, F. C. 2006. *Harmonics And Power System. United State of America* : Taylor & Francis Group.
- [2] Dugan, RC., dkk. 2004. *Electrical Power System Quality-Second Edition*. The McGraw-Hill.
- [3] EkastawaPutra, Rinas IW.2014. " Kajian dan Analisa Distorsi

Harmonisa di Hotel Amankila" (tugas akhir). Jimbaran: Universitas Udayana.

- [4] Akagi, H. 1996. ***New Trends in Active Filters for Power Conditioning***. *IEEE Transaction on Industry Application*, Vol. 32. pp. 1312-1322, Desember 1996.
- [5] IEEE Std 519™-2014 (Revision of IEEE Std 519-1992). 2014. *IEEE Recommended Practice And Requirements For Harmonic Control In Electric Power Systems*. New York : IEEE Standart Association
- [6] Izhar. M. et al. " *Performance for Passive and Active Power Filter in Reducing Harmonics in the Distribution System*" , *National Power & Energi Conference (PECon) 2004, IEEE Proceedings*, Kuala Lumpur, Malaysia, pp. 104-108, 2004.
- [7] Bettega, Eric. et al. 1997. ***Active Harmonic Conditioners And Unity Power Factor Rectifiers***. Cahier Technique Merlin Gerin no: 183.hal.15.
- [8] Harlow, J.H. 2004. *Electric Power Engineering*. United States of America : CRC Press.
- [9] Gonen, T. 2008. *Electric Power Distribution System Engineering*, Second Edition. United States of America : CRC Press.