

## Simulasi Penggunaan Filter Pasif, Filter Aktif dan Filter *Hybrid Shunt* untuk Meredam Meningkatkan Distorsi Harmonisa yang Disebabkan Oleh Munculnya Gangguan Resonansi

I Wayan Rinas

Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Udayana  
Kampus Bukit Jimbaran, Bali, 80361

\*Email: [rinas@unud.ac.id](mailto:rinas@unud.ac.id)

### Abstrak

Beban nonlinier merupakan salah satu penyebab terjadinya distorsi harmonisa. Harmonisa yang terjadi menyebabkan bentuk gelombang arus dan tegangan tidak sinusoidal sehingga dapat merusak peralatan-peralatan elektronik yang dioperasikan. Penelitian yang telah dilakukan sebelumnya membahas mengenai penggunaan filter pasif, filter aktif dan filter hybrid shunt dalam meredam gangguan harmonisa yang terjadi di RSUP Sanglah, namun dalam penelitian-penelitian tersebut diasumsikan tidak terjadi gangguan resonansi yang dapat menimbulkan harmonisa yang tinggi pada sistem kelistrikannya, sehingga belum diketahui kemampuan dari filter-filter harmonisa tersebut dalam meredam gangguan resonansi harmonisa. Gangguan resonansi yang tinggi dapat menyebabkan meningkatnya harmonisa yang dapat mencapai 4 sampai 10 kali pada kondisi muatan penuh. Sehingga perlu diteliti kemampuan dari filter pasif, filter aktif, dan filter hybrid shunt dalam meredam gangguan resonansi harmonisa agar didapat nilai THD yang sesuai standar IEEE 519 tahun 1992. Dalam penelitian ini simulasinya menggunakan software simulink MATLAB. Dari penggunaan ketiga filter dalam meredam gangguan resonansi harmonisa didapatkan hasil antara lain filter pasif memiliki kandungan  $THD_i$  rata-rata 82.67% sedangkan  $THD_v$  7.22%, untuk filter aktif memiliki kandungan  $THD_i$  rata-rata 26.01% dan  $THD_v$  2.58% sedangkan penggunaan filter hybrid shunt nilai rata-rata  $THD_i$  sebesar 8.78% dan  $THD_v$  sebesar 2.08%. Sehingga penggunaan filter harmonisa yang paling baik dalam menurunkan nilai  $THD_i$  serta  $THD_v$  adalah filter hybrid shunt, dimana memiliki nilai  $THD_i$  serta  $THD_v$  yang paling kecil dan sesuai standar IEEE 519 Tahun 1992.

**Kata Kunci :** Harmonisa, resonansi, filter aktif, filter pasif dan filter hybrid shunt

### 1. PENDAHULUAN

Resonansi merupakan frekuensi tinggi yang terjadi dalam suatu rangkaian yang mengandung unsur induktif dan kapasitif, yang menyebabkan reaktansi induktif dan reaktansi kapasitif saling menghilangkan, sehingga didapat karakteristik rangkaian sebagai resistor murni [1]. Filter harmonisa merupakan salah satu solusi dalam meredam gangguan resonansi harmonisa yang terjadi. Ada beberapa jenis filter harmonisa yaitu filter pasif, filter aktif dan filter *hybrid*. Semua filter tersebut mempunyai kemampuan dan kelemahan masing-masing dalam meredam gangguan resonansi harmonisa.

Berdasarkan hasil penelitian penggunaan filter pasif oleh Yuliana (2009) yang dilakukan di RSUP Sanglah, menunjukkan kandungan  $THD_i$  pada MDP2 MLTP2 adalah 2.34%, MDP3 MLTP1 adalah 2,6%, MDP3 MLTP2 adalah 2,83%, MDP4 MLTP2 adalah 2,97%, MDP5 MLTP2 adalah 2,66%, dan MDP5 MLTP3 adalah 1,41% [2].

Penelitian – penelitian yang telah dilakukan sebelumnya hanya membahas mengenai penggunaan filter dalam meredam gangguan harmonisa, dimana dianggap tidak ada gangguan resonansi harmonisa yang terjadi. Padahal gangguan resonansi yang besar dapat menyebabkan bertambahnya harmonisa 4 sampai 10 kali pada kondisi beban penuh [3].

Sehingga perlu diteliti kemampuan dari filter pasif, filter aktif, dan filter *hybrid shunt* dalam meredam gangguan resonansi harmonisa.

Berdasarkan hal tersebut di atas, maka dilakukan simulasi penggunaan filter pasif, aktif, dan filter *hybrid shunt* untuk meredam gangguan resonansi harmonisa. Simulasi yang dilakukan menggunakan bantuan *software simulink MATLAB*. Hal ini diharapkan memberikan hasil yang maksimal untuk meredam resonansi yang terjadi dalam system kelistrikannya.

### 2 HARMONISA

#### 2.1 Definisi harmonisa

Harmonisa menurut *International Electrotechnical Commission (IEC)* 6100-2-1- 1990 didefinisikan sebagai tegangan atau arus sinusoidal yang mempunyai kelipatan frekuensi sistem pasokan tenaga listriknya sebagaimana yang dirancang untuk dioperasikan ( 50 Hz atau 60 Hz). Mirip dengan IEC, *Institute of Electrical and Electronic Engineering (IEEE)* Std 1159-1995 mendefinisikan harmonisa sebagai tegangan atau arus sinusoidal yang mempunyai kelipatan bulat dari frekuensi dimana system tenaga listrik pasokannya dirancang untuk dioperasikan.

**2.2 Deret Fourier**

Teori yang dipakai untuk memahami gelombang harmonisa adalah Teori dari deret fourier. Dalam metode fourier series dapat menunjukkan komponen genap dan ganjil [4].

$$X(f) = F\{x(t)\} = \int_{-\infty}^{\infty} x(t) e^{-j2\pi ft} dt \dots (1)$$

dengan x(t) adalah time domain sinyal, dan X(f) adalah transformasi fourier.

**2.3 Total Distorsi Harmonisa**

Persentase Total Distorsi Harmonisa atau *Total Harmonic Distortion* (THD) tegangan dan arus dirumuskan seperti pada Persamaan (2) dan persamaan (3) sebagai berikut [5]:

$$THD_V = \frac{\sqrt{\sum_2^h V_h^2}}{V_1} \times 100\% \dots (2)$$

dengan:

$V_h$  = Komponen harmonisa tegangan ke-h

$V_1$  = Tegangan frekwensi fundamental (rms)

..

**Tabel 1: Current Distortion Limits untuk General Distribution System [6]**

Maximum Harmonics Current Distortion $I_n$ % $I_L$						
Individual Harmonic Order (Odd Harmonics)						
$I_{sc} / I_L$	<11	11=<h<17	17=<h<23	23=<h<35	35=<h	THD
<20	4	2	1,5	0,6	0,3	5
20-50	7	3,5	2,5	1	0,5	8
50-100	10	4,5	4	1,5	0,7	12
100-1000	12	5,5	5	2	1	15
>1000	15	7	6	2,5	1,4	20

..

Untuk standar THD tegangan menurut IEEE 519 – 1992 dapat dilihat pada tabel 2 di bawah ini.

**Tabel 2: Voltage Distortion Limits[6]**

Voltage at PCC	Individual Voltage Distortion %	THD (%)
69 kV and below	3.0	5.0
69 kV – 161 kV	1.5	2.5
161 kV	1.0	1.5

**2.4 Filter Harmonisa**

**2.4.1 Filter pasif**

Rangkaian *Passive Filter* terdiri dari komponen R, L, dan C. *Passive Filter* banyak digunakan untuk mengkompensasi kerugian daya reaktif akibat adanya harmonisa. Nilai dari kapasitansi dan induktansi filter pasif dapat ditentukan dengan menggunakan persamaan (6) dan (7).

$$THD_I = \frac{\sqrt{\sum_2^h I_h^2}}{I_1} \times 100\% \dots (3)$$

dengan :

$I_h$  = Komponen harmonisa arus ke-h

$I_1$  = Arus frekwensi fundamental (rms)

Menurut standar IEEE 519 – 1992, untuk total distorsi harmonisa dapat dilihat pada tabel 1 di bawah ini, dengan :

$I_{sc}$  = Max short circuit current di PCC (*Point of Common Coupling*)

$I_L$  = Max load current (arus beban fundamental) di PCC

Dimana,  $I_{sc}$  (Arus hubung singkat) dapat dicari dengan rumus:

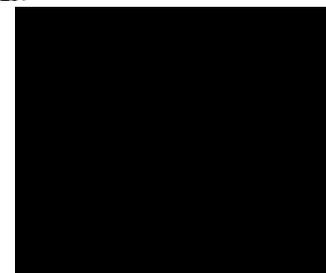
$$I_{sc} = \frac{KVA \times 100}{\sqrt{3} \times KV \times Z(\%)} \dots (4)$$

Sedangkan  $I_L$  (Arus beban maksimum) dapat dicari dengan rumus:

$$I_L = \frac{KW}{PF \cdot \sqrt{3} \cdot KV} \dots (5)$$

$$L = \frac{1}{\omega_0^2 C} \text{ Henry} \dots (6)$$

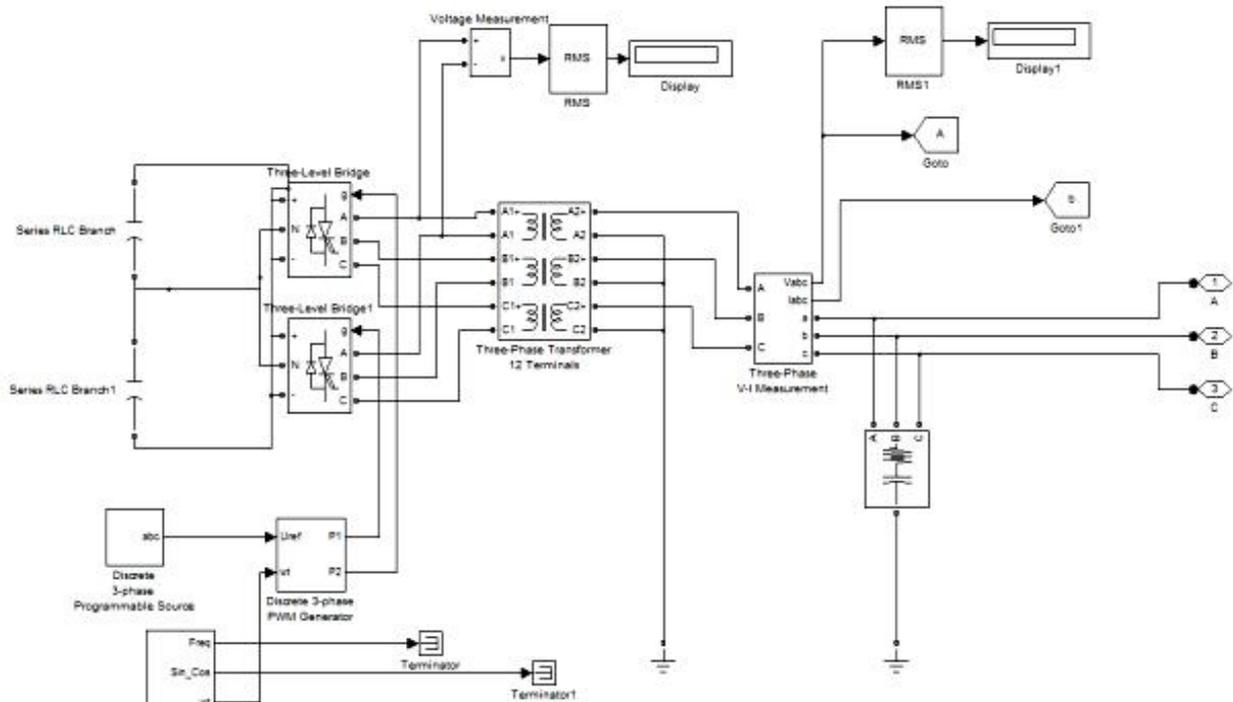
$$C_n = \frac{Q_n}{V_{LN}^2 \cdot \omega} \text{ Farad} \dots (7)$$



Gambar 1. Passive tuned filters

**2.4.2 Filter Aktif**

Filter Aktif merupakan perangkat elektronik yang digunakan untuk memperbaiki kualitas daya listrik.



Gambar 2. Disain filter aktif pada MATLAB

Bus kapasitor dc sebagai sumber tegangan pada filter aktif memiliki nilai kapasitansi ( $C_{dc}$ ) dan rating tegangan bus kapasitor ( $V_n$ ) dimana nilai tersebut diperoleh dari persamaan :

$$V_n = \frac{V_c}{1,83} \text{ Volt} \quad \dots\dots\dots (8)$$

$$C_{dc} = \frac{0.0345 \times S_n}{V_n^2} \text{ Farad} \quad \dots\dots\dots (9)$$

Dimana  $V_c$  merupakan nilai rms dari tegangan sumber ( $V_s$ )

**2.4.3 Filter hybrid shunt**

Filter *hybrid shunt* merupakan gabungan dari dua buah filter yaitu filter pasif dan filter aktif yang dirangkai secara paralel.

**2.4.4 Resonansi**

Efek distorsi gelombang *sinusoidal* pada sistem menyebabkan terjadinya resonansi, yaitu adanya kapasitor pada jaringan sistem tegangan rendah yang biasanya dipakai untuk memperbaiki *power faktor* dapat menimbulkan resonansi pada sistem lokal yang diikuti dengan naiknya arus yang sangat besar yang merugikan kapasitor itu sendiri. Resonansi pada sistem dibagi 2 yaitu resonansi paralel dan resonansi seri.

$$f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} \text{ Hz} \quad \dots\dots\dots (10)$$

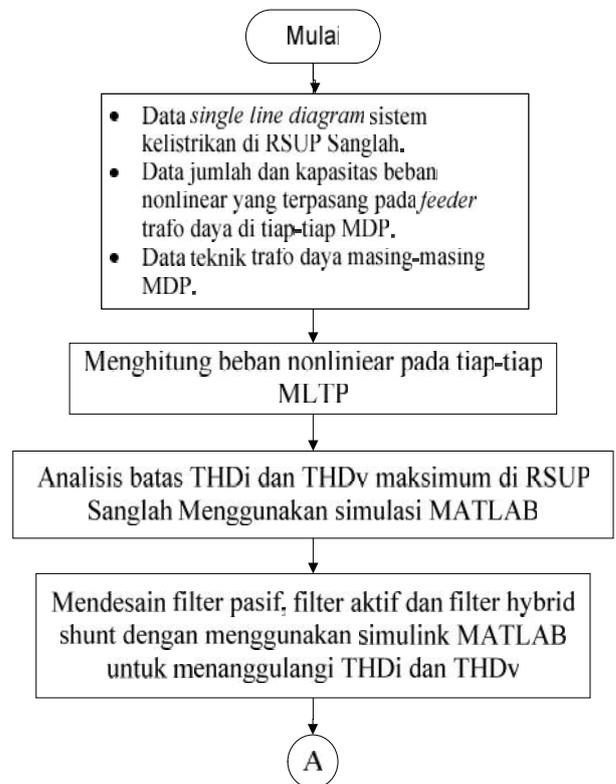
Dimana  $f_0$  = frekuensi resonansi (Hz)

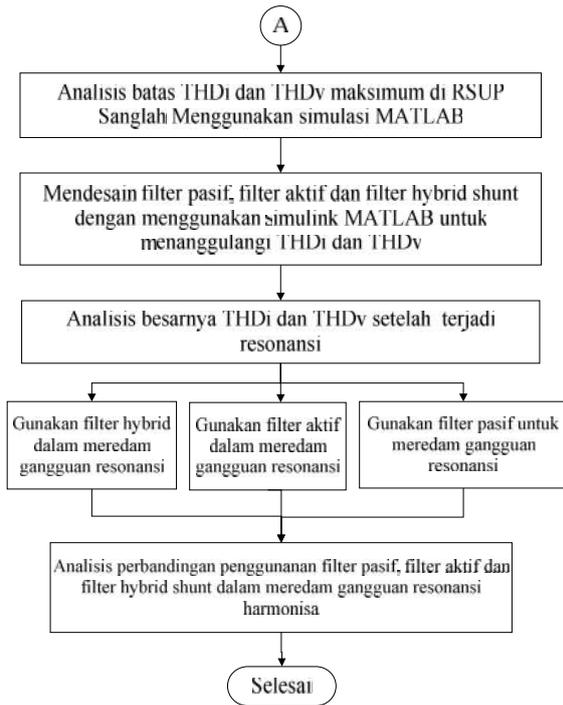
$L$  = Induktor (Henry)

$C$  = kapasitor (Farad)

**3 METODELOGI PENELITIAN**

Simulasi yang dilakukan pada penelitian ini menggunakan beberapa tahapan, seperti dapat dilihat pada diagram alir pada gambar 3.



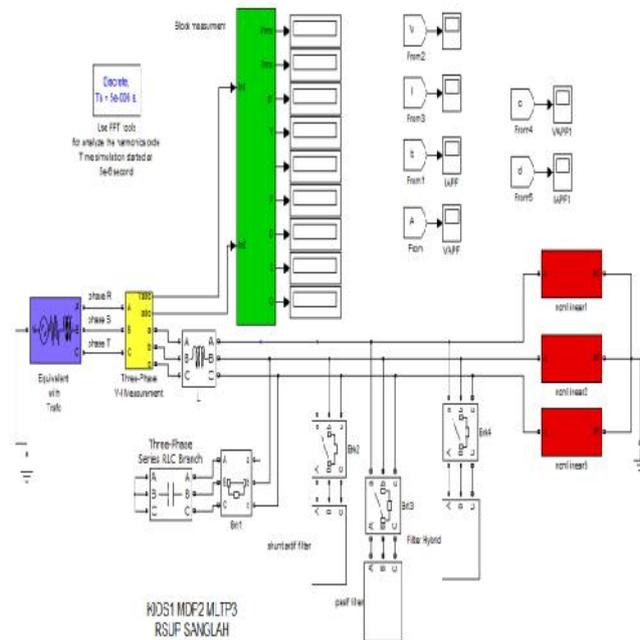


Gambar 3. Alur analisis

4 HASIL DAN PEMBAHASAN

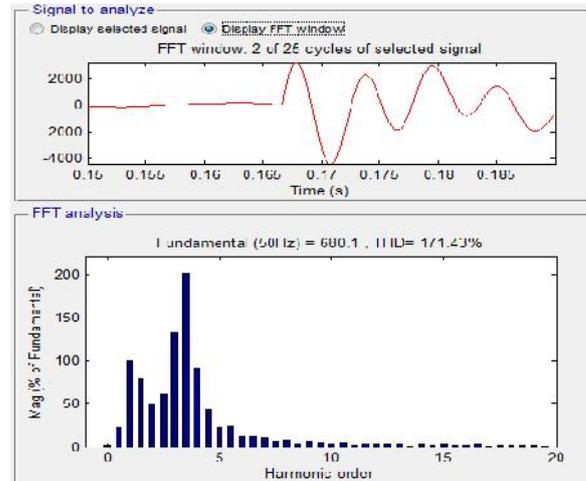
4.1 Pemodelan Gangguan Resonansi Harmonisa

Rangkaian pemodelan yang digunakan terdiri dari komponen induktan (L) dan kapasitor (C). Rangkain dalam simulasi dapat dilihat pada gambar 4 di bawah ini.

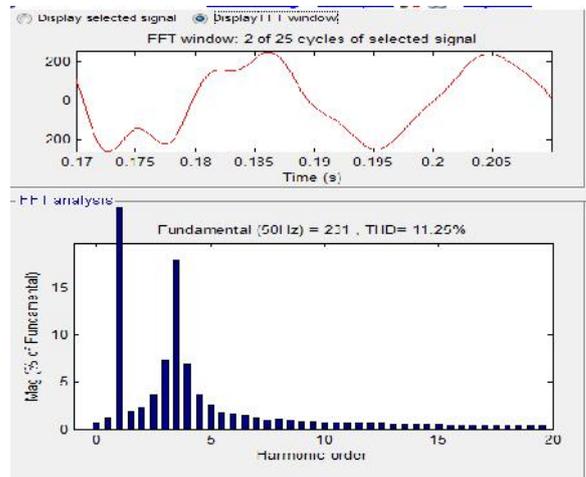


Gambar 4 Rangkaian resonansi harmonisa pada MATLAB

Dengan bantuan FFT Tools dapat diketahui besarnya kandungan THD pada sinyal dan spectrum yang dihasilkan oleh simulasi pada sistem, seperti yang terlihat pada gambar 5 dan 6.



Gambar 5. sinyal dan spektrum arus harmonisa saat terjadi resonansi



Gambar 6. sinyal dan spectrum tegangan harmonisa saat terjadi resonansi

Untuk nilai THD yang lainnya dapat dilihat pada tabel 3 di bawah ini.

Tabel 3: Nilai THD setelah terjadi gangguan resonansi harmonisa

KOS	MDP	MLTP	Sebelum Resonansi		Sesudah Resonansi	
			THDi (%)	THDv (%)	THDi (%)	THDv (%)
1	1	1	18.70	0.36	171.41	11.25
		2	17.10	0.32	172.63	11.22
2	1	3	18.38	1.09	95.33	8.21
		1	12.31	1.47	82.04	7.08
3	2	2	15.69	0.63	141.24	10.47
		1	14.16	1.24	86.07	7.56
4	1	1	19.81	1.04	103.96	8.38
		2	15.42	0.67	133.57	10.47

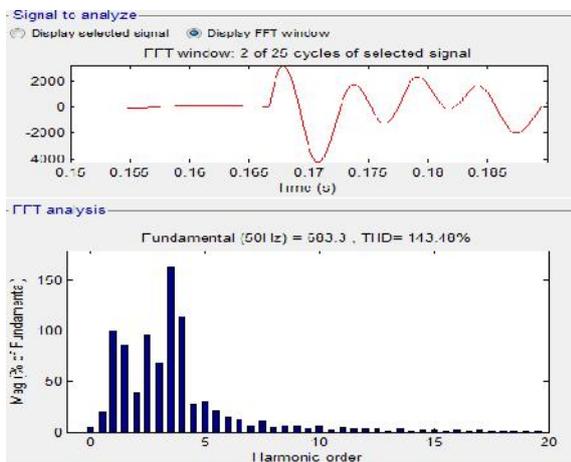
5	1	1	18.49	2.06	71.50	6.56
	2	2	16.94	2.47	62.38	5.77
	3	3	10.51	0.69	21.44	1.94

**4.2 Penurunan THD Akibat Gangguan Resonansi**

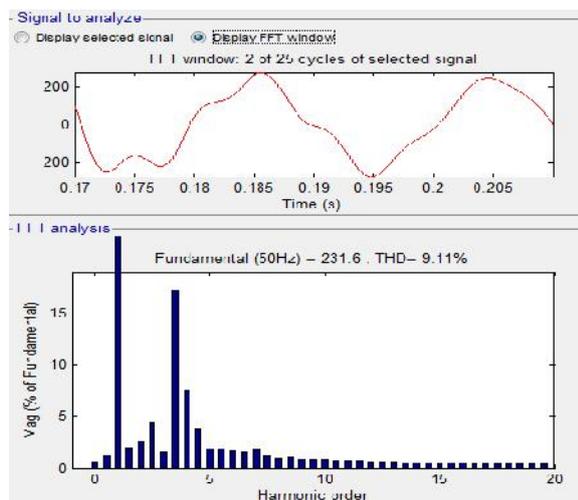
Dalam tugas akhir ini penurunan THD akibat gangguan resonansi harmonisa yang terjadi menggunakan tiga filter yaitu yang pertama menggunakan filter pasif, kemudian filter aktif dan terakhir menggunakan filter *hybrid* yang disusun secara paralel.

**4.2.1 Menggunakan filter pasif**

Hasil simulasi dari penggunaan filter pasif tersebut dalam menanggulangi gangguan resonansi dapat dilihat pada gambar 4 dan 5 di bawah ini.



**Gambar 4. Sinyal dan spektrum arus harmonisa menggunakan filter pasif**



**Gambar 5. Sinyal dan spektrum tegangan harmonisa menggunakan filter pasif**

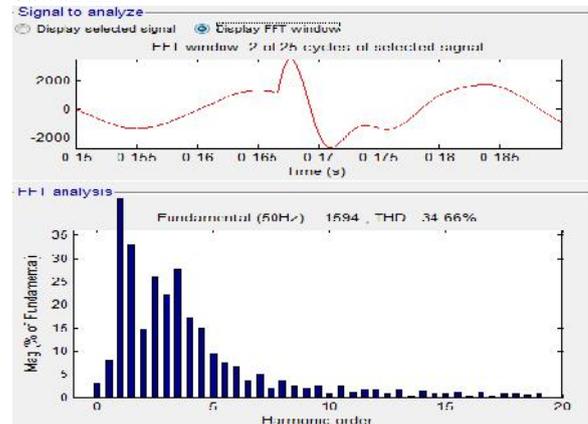
Dengan cara yang sama maka untuk nilai THD yang lainnya setelah penggunaan filter pasif dapat dilihat pada tabel 4.

**Tabel 4: Nilai THD setelah Penambahan Filter Pasif dalam Meredam Gangguan Resonansi Harmonisa**

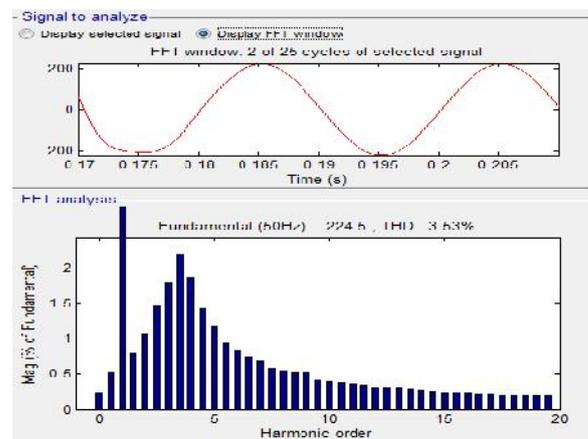
KIOS	MDP	MLTP	Filter Pasif	
			THD <sub>i</sub> (%)	THD <sub>v</sub> (%)
1	MDP1	MLTP1	143.49	9.11
		MLTP2	147.88	8.78
	MDP2	MLTP3	62.48	8.56
2	MDP1	MLTP1	81.86	7.06
	MDP2	MLTP2	100.89	8.30
3	MDP1	MLTP1	52.60	8.29
4	MDP1	MLTP1	68.97	7.11
	MDP2	MLTP2	100.08	8.26
5	MDP1	MLTP1	69.39	6.40
	MDP2	MLTP2	60.79	5.65
	MDP3	MLTP3	20.96	1.94

**4.2.2 Menggunakan filter aktif**

Hasil simulasi dari penggunaan filter aktif tersebut dalam menanggulangi gangguan resonansi yang terjadi dapat dilihat pada gambar 4.6 dan 4.7 di bawah ini.



**Gambar 6. Sinyal dan spektrum arus harmonisa menggunakan filter aktif**



**Gambar 7. Sinyal dan spektrum tegangan harmonisa menggunakan filter aktif**

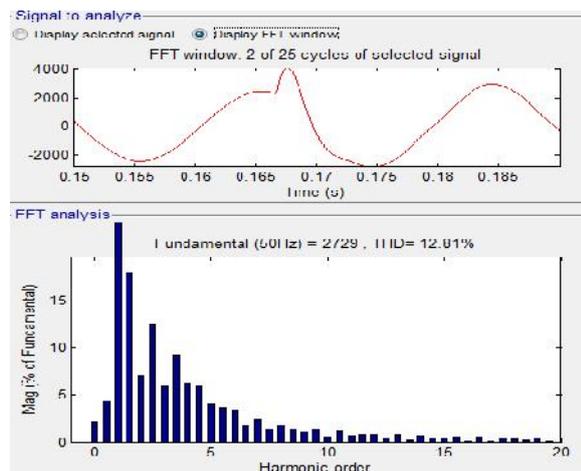
Dengan cara yang sama maka untuk nilai THD yang lainnya setelah penggunaan filter aktif dapat dilihat pada tabel 5 di bawah ini.

**Tabel 5 Nilai THD Setelah Penambahan Filter Aktif Dalam Meredam Gangguan Resonansi Harmonisa**

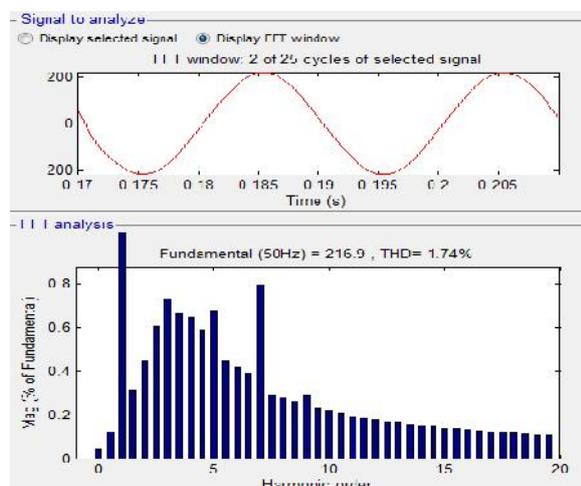
KIOS	MDP	MLTP	Filter Aktif	
			THD <sub>i</sub> (%)	THD <sub>v</sub> (%)
1	MDP1	MLTP1	34.66	3.35
		MLTP2	35.70	3.64
	MDP2	MLTP3	30.48	2.67
2	MDP1	MLTP1	24.47	2.27
	MDP2	MLTP2	23.58	2.37
3	MDP1	MLTP1	21.42	2.06
4	MDP1	MLTP1	24.37	2.48
	MDP2	MLTP2	30.22	2.95
5	MDP1	MLTP1	25.23	2.53
	MDP2	MLTP2	23.36	2.48
	MDP3	MLTP3	12.66	1.56

**4.2.3 Menggunakan filter hybrid**

Hasil simulasi dari penggunaan filter *hybrid shunt* tersebut dalam menaggulangi gangguan resonansi yang terjadi dapat dilihat pada gambar 8 dan 9 di bawah ini.



**Gambar 8. Sinyal dan spektrum arus harmonisa menggunakan filter hybrid shunt**



**Gambar 9. Sinyal dan spektrum tegangan harmonisa menggunakan filter hybrid shunt**

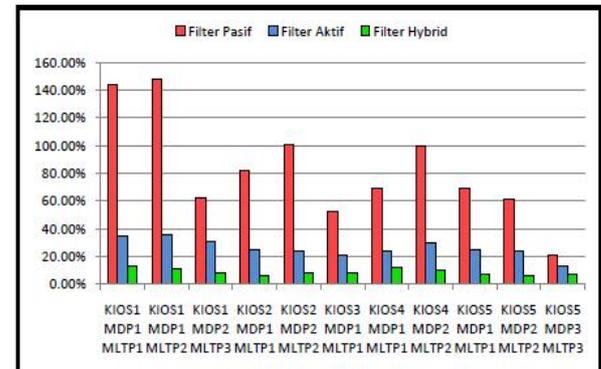
Dengan cara yang sama maka untuk nilai THD yang laiannya setelah penggunaan filter *hybrid shunt* dapat dilihat pada tabel 6 di bawah ini.

**Tabel 6: Nilai THD Setelah Penambahan Filter Hybrid shunt Dalam Meredam Gangguan Resonansi Harmonisa**

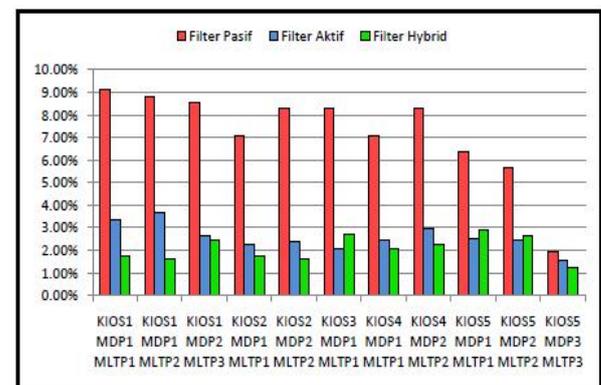
KIOS	MDP	MLTP	Filter Hybrid	
			THD <sub>i</sub> (%)	THD <sub>v</sub> (%)
1	MDP1	MLTP1	12.81	1.74
		MLTP2	11.51	1.65
	MDP2	MLTP3	8.31	2.44
2	MDP1	MLTP1	6.25	1.76
	MDP2	MLTP2	7.89	1.63
3	MDP1	MLTP1	7.84	2.71
4	MDP1	MLTP1	12.04	2.05
	MDP2	MLTP2	9.58	2.25
5	MDP1	MLTP1	6.91	2.90
	MDP2	MLTP2	6.52	2.63
	MDP3	MLTP3	7.00	1.20

**4.3 Perbandingan Hasil Simulasi Penggunaan Filter Pasif, Aktif Dan Filter Hybrid Shunt Dalam Penanggulangan Gangguan Resonansi**

Dari simulasi yang telah dilakukan maka dapat dibandingkan penggunaan filter harmonisa tersebut dalam meredam gangguan resonansi harmonisa yang terjadi seperti terlihat pada grafik di bawah ini.



**Gambar 10. Grafik perbandingan penggunaan filter harmonisa dalam menurunkan THDi**



**Gambar 11. Grafik perbandingan penggunaan filter harmonisa dalam menurunkan THDv**

Dari penggunaan ketiga filter tersebut dapat diketahui rata – rata nilai  $THD_i$  maupun  $THD_v$  pada saat terjadinya resonansi harmonisa seperti yang terlihat pada tabel 7 di bawah ini.

**Tabel 7: Rata – rata nilai THD masing – masing filter saat terjadi resonansi**

Filter Harmonisa	$THD_i$ (%)	$THD_v$ (%)
Filter Pasif	82.67%	7.22%
Filter Aktif	26.01%	2.58%
Filter Hybrid	8.78%	2.08%

## 5. SIMPULAN

Perbandingan nilai rata - rata  $THD_i$  dan  $THD_v$  dari penggunaan filter harmonisa pada saat terjadi gangguan resonansi harmonisa yaitu: filter pasif memiliki kandungan  $THD_i$  rata – rata 82.67% sedangkan  $THD_v$  7.22%, untuk filter aktif memiliki kandungan  $THD_i$  rata- rata 26.01% dan  $THD_v$  2.58% sedangkan penggunaan filter *hybrid shunt* nilai rata – rata  $THD_i$  sebesar 8.78% dan  $THD_v$  sebesar 2.08% . Sehingga penggunaan filter harmonisa yang paling baik dalam menurunkan nilai  $THD_i$  maupun  $THD_v$  adalah filter *hybrid shunt* dimana memiliki nilai  $THD_i$  maupun  $THD_v$  yang paling kecil.

Kandungan nilai  $THD_i$  pada saat penggunaan filter pasif dan filter aktif belum memenuhi standar IEEE 519 Tahun 1992, sedangkan nilai  $THD_i$  filter *hybrid shunt* telah sesuai standar IEEE 519 Tahun 1992. Kandungan  $THD_v$  saat penggunaan filter pasif belum memenuhi standar IEEE 519 Tahun 1992, sedangkan nilai  $THD_v$  filter aktif dan filter *hybrid shunt* telah sesuai standar IEEE 519 Tahun 1992.

## 6. DAFTAR PUSTAKA

- [1] William, H. et al. 2005. *Analisis Rangkaian Listrik*. Ed.6 JI.2. Erlangga: Jakarta
- [2] Yuliana, A. 2009. *Analisis Menanggulangi THD (Total Harmonic Distortion) dengan Filter Pasif pada Sistem Kelistrikan di RSUP Sanglah*, Jimbaran : Jurusan Teknik Elektro Universitas Udayana.
- [3] Limantara, Limboto. 2002. *Hybrid Active Filter Untuk Meredam Resonansi Harmonisa Pada Sistem Pembangkitan di Industri*, Jurnal Teknik Elektro Vol. 2, No. 1, Maret 2002.
- [4] Dugan, Roger. et al. 2003. *Electrical Power Systems Quality*. New York : McGraw-Hill. 2003.

- [5] Mohan, N. 1989. *Power Electronic Converter, Application and Design*. New York : A Wiley Interscience Publication, 1989.
- [6] Burke, James J. *Power Distribution Engineering – Fundamentals And Applications*. New York : Marcel Dekker INC, 1994.hal.284.
- [7] Akagi, H. 1996. *New Trends in Active Filters for Power Conditioning*. IEEE Transaction on Industry Application, Vol. 32. pp. 1312-1322, Desember 1996.