

DESAIN FILTER PASIF UNTUK MEREDUKSI RUGI-RUGI HARMONISA AKIBAT VARIASI BEBAN PADA LABORATORIUM KOMPUTER DAN JARINGAN TEKNIK ELEKTRO UNIVERSITAS RIAU

Winner Inra Jefferson Batubara*, Firdaus, Nurhalim****

*Alumni Teknik Elektro Universitas Riau, ** Dosen Teknik Elektro Universitas Riau
Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Riau
Kampus Bina widya Km 12,5 Simpang Baru Panam, Pekanbaru 28293
Email: win19_net@yahoo.co.id

ABSTRACT

This study presents a harmonic filter design to reduce losses due to the load harmonic variations in Computers and Networks Laboratory of Electrical Engineering, University of Riau. Filter design is using ETAP software 7.5. Design passive filter using parameters from measurements made on the electrical panel Laboratory of Computer and Network by using a measuring instrument power quality analyzer KEW 6310. The parameters used are the active power (watts), reactive power (Var), apparent power (VA), and power factor ($\cos \phi$). ETAP simulation analysis process is done by modeling the entire charging circuit parameters with the actual conditions approach such as power grids, transformers, and cables. Harmonic orders reduced are order 5, order 7 and order 11. Harmonic filter is designed for all tests in order to meet the current THD is allowed IEEE standard 519-1992 by 5%. Eight harmonic filters has been done in this case which three filters for harmonic 5th, three filters for harmonic 7th, and two filters for harmonic order 11th.

Keywords: Passive Filter, Harmonic Order, ETAP

1. Pendahuluan

Penyaluran energi listrik dari pembangkit ke beban akan menimbulkan rugi-rugi daya yang cukup besar, apabila daya tersebut disalurkan pada level tegangan rendah. Tegangan dinaikkan ke level yang sesuai dengan daya yang disalurkan untuk meminimalisasi rugi-rugi daya penyaluran dan memaksimalkan daya yang ditransmisikan. Penyesuaian tegangan agar sesuai dengan kebutuhan beban dapat menggunakan transformator. Hal inilah yang membuat transformator menjadi sangat penting perannya didalam penyaluran energi listrik. Perkembangan teknologi seperti pada saat ini, menimbulkan jenis-jenis beban yang digunakan pada masyarakat bermacam-macam. Secara umum, peralatan yang digunakan oleh masyarakat, menggunakan komponen semi konduktor dan operasi kerjanya model *swiching* atau yang dikenal sebagai beban non linear. Penggunaan beban ini dapat menimbulkan harmonisa.

Harmonisa merupakan suatu fenomena timbulnya gelombang dengan frekuensi tinggi yang merupakan kelipatan dari frekuensi gelombang fundamentalnya. Hal ini akan menimbulkan terjadinya cacat gelombang arus dan tegangan (tidak sinusoidal).

Fakultas Teknik Universitas Riau merupakan suatu tempat yang sangat penting dalam proses belajar-mengajar. Fakultas Teknik Universitas Riau dilengkapi dengan berbagai jenis bentuk fasilitas modern, seperti infokus, *fotocopy*, printer, *Air Conditioner* (AC), lampu neon dan lain sebagainya. Berbagai jenis bentuk fasilitas modern tersebut sebagian besar merupakan jenis beban non linier yang dapat menimbulkan harmonisa dan dapat mempengaruhi kinerja transformator distribusi yang ada. Akibat harmonisa pada beban-beban non linier yang banyak digunakan di Fakultas Teknik Universitas Riau menyebabkan kinerja transformator turun, misalnya terjadi panas yang berlebihan dan akan memperpendek usia transformator distribusi.

Ada beberapa cara yang dilakukan untuk mengurangi harmonisa yang terjadi akibat beban-beban non linier tersebut. Salah satunya dengan menggunakan filter pasif. Filter pasif merupakan metode penyelesaian yang efektif dan ekonomis untuk masalah harmonisa. Filter pasif sebagian besar didesain untuk memberikan bagian khusus untuk mengalihkan arus harmonisa yang tidak diinginkan dalam sistem tenaga. Filter pasif banyak digunakan untuk mengkompensasi kerugian daya reaktif akibat adanya harmonisa pada sistem instalasi. Rangkaian filter pasif terdiri dari komponen R, L, dan C. Komponen utama yang terdapat pada filter pasif adalah kapasitor dan induktor. Kapasitor dihubungkan seri atau paralel untuk memperoleh sebuah total rating tegangan dan kV_{AR} yang diinginkan. Sedangkan induktor digunakan dalam rangkaian filter dirancang mampu menahan selubung frekuensi tinggi yaitu efek kulit.

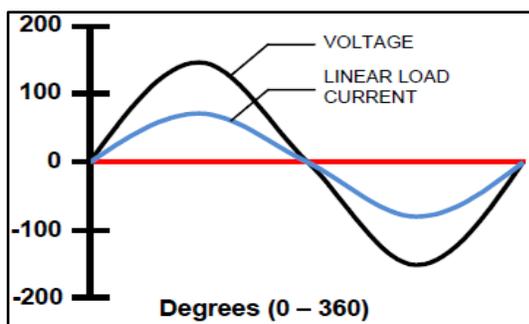
Pada skripsi ini akan didesain suatu filter pasif untuk mereduksi rugi-rugi harmonisa akibat variasi beban yang dilakukan di laboratorium komputer Teknik Elektro Universitas Riau. Filter ini dirancang dengan menggunakan *software* ETAP 7.5.

2. Landasan teori

2.1. Beban Linear dan Beban Non Linear

2.1.1 Beban Linear

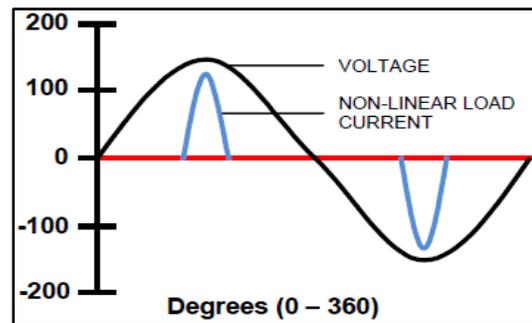
Beban linear adalah beban yang komponen arusnya proporsional terhadap tegangannya. Terdapat hubungan yang linear antara arus dan tegangan sehingga bentuk gelombang arus akan sama dengan bentuk gelombang tegangannya, seperti yang terlihat pada Gambar 1 (I Wayan Rinas, 2012).



Gambar 1 Bentuk Gelombang Arus dan Tegangan pada Beban Linear (I Wayan Rinas, 2012)

2.1.2 Beban Non Linear

Beban yang komponen arusnya tidak proporsional terhadap komponen tegangannya, sehingga bentuk gelombang arusnya tidak sama dengan bentuk gelombang tegangannya. Tidak terdapat hubungan yang linear antara arus dan tegangan. Beban non linear menyerap arus non sinusoidal demikian juga arus harmonik, walaupun disuplai oleh tegangan sinusoidal, seperti yang terlihat pada Gambar 2 (I Wayan Rinas, 2012)

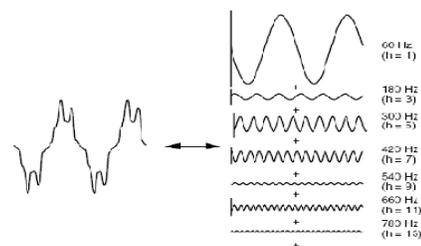


Gambar 2 Bentuk Gelombang Arus dan Tegangan pada Beban Non Linear (I Wayan Rinas, 2012)

2.2. Harmonisa

2.2.1 Pengertian

Harmonisa adalah gangguan yang terjadi pada sistem distribusi tenaga listrik akibat terjadinya distorsi gelombang arus dan tegangan. Jumlah antara frekuensi fundamental dan kelipatannya, akan menyebabkan frekuensi fundamental tidak lagi berbentuk sinus murni, tetapi mengalami distorsi. (Reza Perkasa, 2010)



Gambar 3 Bentuk Gelombang yang Terdistorsi Akibat Harmonisa Ganjil (Reza Perkasa, 2010)

2.2.2 Total Harmonic Distortion (THD)

Total Harmonic Distortion (THD) adalah perbandingan antara nilai RMS dari seluruh komponen harmonisa terhadap nilai RMS dari

fundamental, biasanya dinyatakan dalam persen. Untuk gelombang sinusoidal sempurna nilai dari THD adalah bernilai nol persen. Untuk mencari nilai THD untuk tegangan dan arus dapat menggunakan rumus sebagai berikut :

$$I_{THD} = \frac{\sqrt{\sum_{n=2}^{\infty} I_n^2}}{I_1} \times 100\% \quad (1)$$

$$V_{THD} = \frac{\sqrt{\sum_{n=2}^{\infty} V_n^2}}{V_1} \times 100\% \quad (2)$$

Dimana I_n adalah nilai arus harmonisa (A), I_1 adalah nilai fundamental (A), V_n adalah nilai tegangan harmonisa (V), V_1 adalah nilai fundamental (V) dan n adalah komponen harmonisa maksimum.

2.2.3 Standar Harmonisa yang Diizinkan

Tabel 1 IEEE Standard 519-1992, Standar Batas Distorsi Tegangan Harmonisa Maksimum

Voltage at PCC	Individual Component Voltage Distortion	Total Voltage Distortion (THD)
$V \leq 69$ kV	3,00%	5,00%
69 kV $< V \leq 161$ kV	1,50%	2,50%
$V \leq 161$ kV	1,00%	1,50%

Nilai-nilai ini hanya berlaku untuk skenario kasus yang terburuk yang dapat digunakan untuk kondisi operasi dengan waktu sedikitnya satu jam. Untuk kondisi-kondisi yang sesaat seperti starting beban, switching dan keadaan non *steady-state* lainnya, batas-batas ini mungkin bisa terlewati sampai 5,0%.

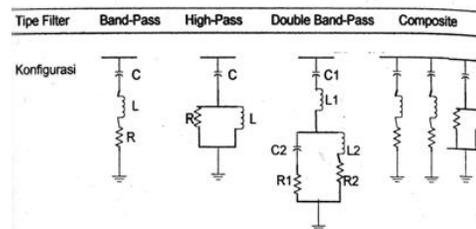
Tabel 2 dari IEEE standard 519-1992, menyarankan nilai-nilai berikut sebagai batas maksimum yang direkomendasikan untuk distorsi arus. Untuk standar harmonisa arus, ditentukan oleh rasio I_{SC}/I_L (arus hubung singkat dibagi dengan arus beban). I_{SC} adalah arus hubung singkat yang ada pada PCC (*Point of Common Coupling*), I_L adalah arus beban fundamental nominal dan dapat dilihat pada tabel di bawah ini. (Dugan, 2003: 6)

Tabel 2 IEEE Standard 519-1992, Standar Batas Distorsi Arus Harmonisa Maksimum

Maximum Harmonic Current Distortion In % Of Fundamental						
I_{SC}/I_L	Harmonic Order (Odd Harmonic)					THD (%)
	< 11	$11 \leq h \leq 17$	$17 \leq h \leq 23$	$23 \leq h \leq 25$	$35 \leq h$	
$< 20^*$	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
Even harmonics are limited to 25% of the odd harmonics above						
*All power generation equipment is limited to these values of current distortion, regardless of actual I_{SC}/I_L						
Where I_{SC} = Maximum load current (fundamental frequency) at PCC						
For PCC's from 69 to 138 kV, the limits are 50% of the limits above						
A case-by-case evaluation is required						

2.3. Filter Pasif

Aplikasi filter pasif merupakan metode penyelesaian yang efektif dan ekonomis untuk masalah harmonisa. Rangkaian filter pasif terdiri dari komponen R, L, dan C. Gambar 4 memperlihatkan beberapa jenis filter pasif yang umum beserta konfigurasi dan impedansinya. *Single-tuned filter* atau *bandpass filter* adalah yang paling umum digunakan. Dua buah *Single-tuned filter* akan memiliki karakteristik yang mirip dengan *double bandpass filter*.



Gambar 4 Jenis-Jenis Filter Pasif (I Nengah Suweden, 2009)

Typical filter pasif yang paling umum digunakan adalah *single-tuned* filter. Filter umum ini biasa digunakan pada tegangan rendah. Rangkaian filter ini mempunyai impedansi yang rendah. Sebelum merancang suatu filter pasif, maka perlu diketahui besarnya kebutuhan daya reaktif pada sistem. Daya reaktif sistem ini diperlukan untuk menghitung besarnya nilai kapasitor yang diperlukan untuk memperbaiki sistem tersebut. (I Nengah Suweden, 2009)

Prosedur umum dalam menganalisis harmonik adalah sebagai berikut :

- Mengidentifikasi kondisi harmonik
- Mendesain skema filter untuk mereduksi harmonik
- Menganalisis unjuk kerja filter (Endi Sopyandi, 2009)

2.4 Perancangan *Single Tuned Filter*

Ada beberapa langkah-langkah dalam menentukan parameter yang digunakan dalam perancangan *single tuned filter*. Bila filter didesain untuk memperbaiki faktor daya, maka besarnya daya reaktif yang disuplai oleh kapasitor ditentukan oleh : (Endi Sopyandi, 2009)

$$Q_{VAR} = \sqrt{\left[\frac{P_1^2}{PF_0^2}\right] - P_1^2} - \sqrt{\left[\frac{P_1^2}{PF^2}\right] - P_1^2} \quad (3)$$

Dimana :

P_1 = Daya aktif sistem

PF_0 = Faktor daya sebelum ada kompensasi daya reaktif

PF = Faktor daya setelah ada kompensasi daya reaktif

Langkah selanjutnya adalah menentukan nilai reaktansi kapasitor dengan menggunakan persamaan dibawah ini berikut ini :

$$X_C = \frac{kV_{rated}^2}{M_{var_{rated}}} \quad (4)$$

Dimana :

X_C = Reaktansi kapasitor

kV_{rated}^2 = Tegangan sumber

$M_{VAR_{rated}}$ = Daya reaktif

Untuk nilai kapasitor dapat dihitung dengan menggunakan persamaan berikut ini :

$$C = \frac{1}{2\pi f X_C} \quad (5)$$

Dimana :

C = Kapasitor

F = Frekuensi fundamental sebesar 50 Hz

X_C = Reaktansi kapasitor

Untuk menghitung nilai reaktansi induktor dapat menggunakan persamaan berikut ini :

$$X_L = \frac{X_C}{n^2} \quad (6)$$

Dimana :

X_L = Reaktansi induktor

X_C = Reaktansi kapasitor

n = Orde harmonik yang difilter (setel sedikit dibawah ordenya)

Untuk nilai induktor dapat menggunakan persamaan dibawah ini :

$$L = \frac{X_L}{2\pi f} \quad (7)$$

Dimana :

L = Induktor

F = Frekuensi fundamental sebesar 50 Hz

X_L = Reaktansi induktor

Faktor kualitas (Q) merupakan ukuran ketajaman penyetyelan filter dalam mereduksi harmonik, sehingga diharapkan nilai Q setinggi mungkin. Nilai Q yang tinggi didapatkan dengan memberikan nilai R yang kecil.

3. METODE PENELITIAN

3.1. Peralatan yang Digunakan dalam Penelitian

Alat-alat yang digunakan pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

- Panel Laboratorium Komputer dan Jaringan.
- Power Quality Analyzer* KEW 6310 Ver. 2.00 produk Kyoritsu Electrical Instrument Works, LTD. Tokyo, Japan.
- Clamp sensor* M-8125, *range measures* : 500A *type* (\emptyset 40mm).
- Voltage test lead*, M-7141 : 1 set (*black, red, green, blue*).

3.2 Beban yang Digunakan dalam Penelitian

Beban-beban yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

- Lampu TL sebanyak 24 buah yang terdapat pada Laboratorium Komputer dan Jaringan.

2. *Air Conditionner* (AC) sebanyak dua unit yang terdapat pada Laboratorium Komputer dan Jaringan.
3. Tiga unit komputer yang terdapat pada Laboratorium Komputer dan Jaringan.

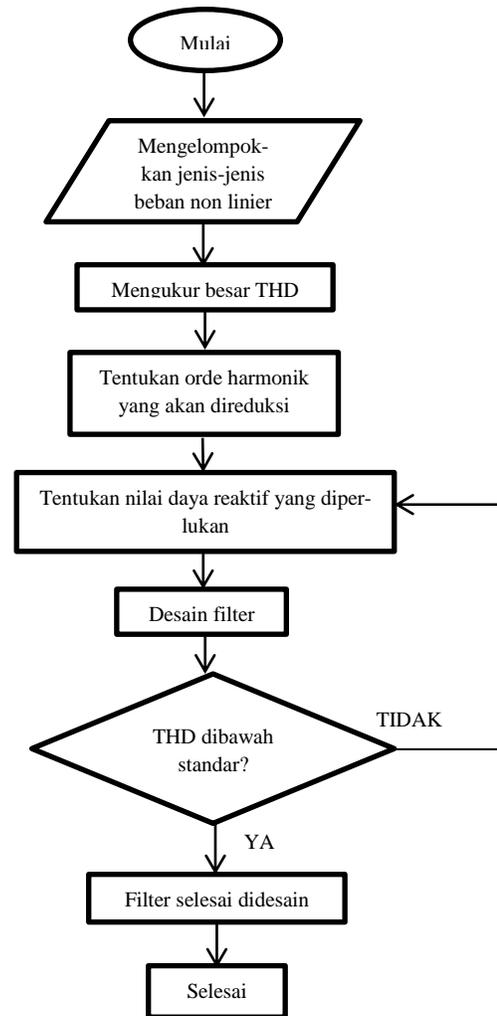
3.3 Pengelompokan Beban dalam Penelitian

Dalam penelitian ini, beban-beban non linier yang diteliti dapat dikelompokkan menjadi beberapa kelompok, yaitu sebagai berikut :

- 1) Lampu TL
 - a) Enam buah lampu TL
 - b) Delapan belas buah lampu TL
 - c) Dua puluh empat buah lampu TL
- 2) *Air Conditioner* (AC)
 - a) Satu unit AC
 - b) Dua unit AC
- 3) *Komputer/Personal Komputer* (PC)
 - a) Satu unit komputer (PC)
 - b) Dua unit komputer (PC)
 - c) Tiga unit komputer (PC)
- 4) Variasi beban non linier
 - a) Enam buah lampu TL dan satu unit AC
 - b) Enam buah lampu TL dan satu unit PC
 - c) Enam buah lampu TL, satu unit AC dan satu unit PC
 - d) Satu unit AC dan satu unit PC
 - e) Dua puluh empat buah lampu TL dan dua unit AC
 - f) Dua puluh empat buah lampu TL dan tiga unit PC
 - g) Dua puluh empat buah lampu TL, dua unit AC dan tiga unit PC
 - h) Dua unit AC dan tiga unit PC

3.4 Diagram Alir Penelitian

Penelitian ini dibagi dalam beberapa tahap metode, untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada Gambar 5.

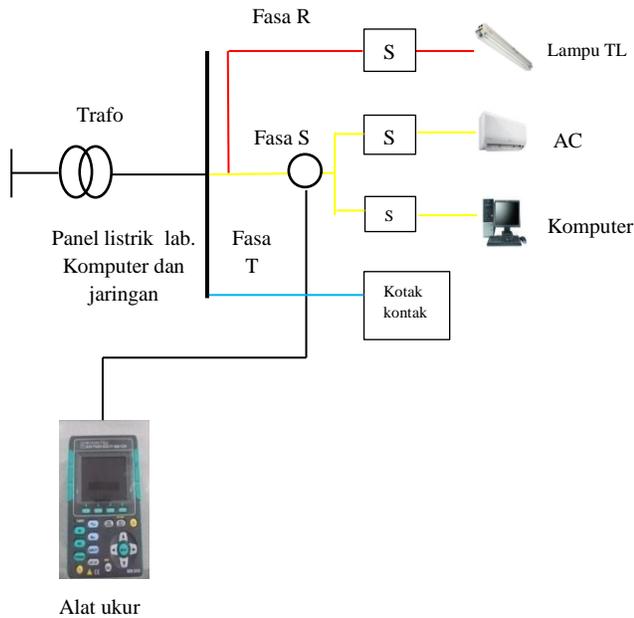


Gambar 5 Diagram Alir Penelitian

3.5 Metode Pengambilan Data

Data diperoleh dari pengukuran dengan menggunakan *Power Quality Analyzer* KEW 6310 Ver. 2.00 produk Kyoritsu Electrical Instrument Works, LTD. Tokyo, Japan.

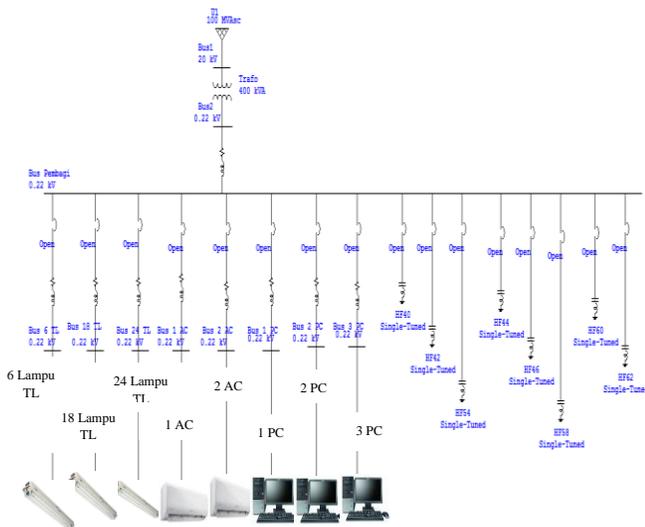
Pengambilan data dilakukan dengan melakukan pengukuran pada panel listrik yang ada pada Laboratorium Komputer dan Jaringan dengan cara mematikan dan menghidupkan saklar (s) pada setiap beban-beban yang digunakan dalam penelitian ini serta memvariasikannya. Data yang diambil berupa komponen harmonik, tegangan (V), arus (I), daya (P,Q,S), dan faktor daya (PF).



Gambar 6 Metode Pengukuran

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Simulasi Perancangan Filter *Single Tuned*



Gambar 7 Rangkaian Pembebanan dalam Simulasi dengan Delapan Buah Filter *Single Tuned*

Filter pasif yang dirancang yaitu tipe *single tuned*. Filter *single tune* terdiri dari hubungan seri komponen-komponen pasif seperti induktor, kapasitor dan resistor. Perancangan filter *single tuned*

menggunakan *software ETAP Power Station 7.5*. Simulasi dengan menggunakan *software ETAP Power Station 7.5* dapat mempermudah analisis dari kinerja filter yang telah dirancang. Proses simulasi digunakan dengan menggunakan pendekatan kondisi sistem yang sebenarnya.

Gambar 7 adalah rangkaian pembebanan dalam simulasi dengan delapan buah filter *single tuned*. Filter yang digunakan yaitu tiga buah filter harmonik orde 5, tiga buah filter harmonik orde 7, dan 2 buah filter harmonik orde 11. Delapan buah filter harmonik yang digunakan tersebut menghasilkan THD arus yang kecil dan memenuhi standar yang diizinkan dari semua pengujian yang dilakukan. Rangkaian pembebanan pada Gambar 7 terdiri dari beberapa komponen, yaitu *power grid*, transformator, bus, kabel dan beban. *Power grid* diasumsikan memiliki daya 100 MVA dengan tegangan 20 KV. Transformator menggunakan data transformator yang ada pada Fakultas Teknik Universitas Riau, yaitu memiliki daya 400 KVA dengan tegangan primer 20 KV dan tegangan skunder 220-400 V. Kabel yang digunakan yaitu kabel tembaga (Cu) dengan nilai impedansi yang sangat kecil atau bisa diabaikan.

Parameter-parameter yang terdapat pada filter yang digunakan dalam simulasi ETAP, yaitu :

1. Nilai daya reaktif yang digunakan untuk perbaikan faktor daya.
2. Nilai teaktansi kapasitif untuk kompensasi daya reaktif.
3. Reaktansi induktif.

Tabel 3 adalah tabel parameter filter yang digunakan dalam simulasi.

Tabel 3 Parameter-Parameter Filter

Parameter	Nilai orde 5	Nilai orde 7	Nilai orde 11
Q_{Var}	1791,29 V _{ar}	1791,29 V _{ar}	1791,29 V _{ar}
X_C	27,019 Ω	27,019 Ω	27,019 Ω
C	117,8 μF	117,8 μF	117,8 μF
X_L	1,172 Ω	0,584 Ω	0,231 Ω
L	3,73 mH	1,858 mH	0,735 mH
Q faktor	80	80	80
Rating tegangan	220 Volt	220 Volt	220 Volt

4.2 Hasil Simulasi Sebelum dan Setelah difilter

Dari pengujian-pengujian yang telah dilakukan, terdapat perbedaan bentuk gelombang harmonik arus dan spektrum harmonik arus sebelum difilter dan setelah difilter. Secara umum, pemasangan filter pada beban penghasil harmonik dari pengujian-pengujian yang dilakukan berhasil mengurangi THD arus. Tetapi, penambahan filter untuk mengurangi THD arus tidak diikuti dengan pengurangan arus RMS. Nilai arus setelah pemasangan dan penambahan filter meningkat bila dibandingkan sebelum penggunaan filter. Tabel 4 adalah tabel arus pada saat sebelum dan setelah difilter dari simulasi.

Tabel 4 Nilai Arus Sebelum dan Setelah Difilter

Pengujian	Arus (ampere)	
	Sebelum	Setelah
	Filter	Filter
6 lampu TL	1,5	37,6
18 lampu TL	3,5	35,9
24 lampu TL	4,9	34,7
1 AC	5,1	37,3
2 AC	10	36,3
1 komputer (PC)	0,9	38,5
2 PC	2,1	37,9
3 PC	2,9	37,5
6 lampu TL dan 1 AC	6,3	36,1
6 lampu TL dan 1 PC	2,2	37,2
6 lampu TL, 1 AC dan 1 PC	6,8	35,7
1 AC dan 1 PC	5,6	36,9
24 lampu TL dan 2 AC	14,0	32,9
24 lampu TL dan 3 PC	7,0	33,4
2 AC dan 3 PC	11,8	35,2
24 lampu TL, 2 AC dan 3 PC	15,7	32

Tabel 5 adalah tabel THD arus yang telah disimulasikan dari masing-masing pengujian sebelum dan setelah difilter.

Tabel 5 THD Arus Sebelum dan Setelah difilter

Pengujian	THD arus		Keterangan
	Sebelum difilter	Setelah difilter	
6 lampu TL	11,19%	0,23%	Memenuhi standar
18 lampu TL	11,21%	0,56%	Memenuhi standar
24 lampu TL	11,22%	0,81	Memenuhi standar
1 AC	29,61%	1,94%	Memenuhi standar
2 AC	25,52%	4,24%	Memenuhi standar
1 komputer (PC)	130,47%	0,84%	Memenuhi standar
2 PC	130,56%	1,86%	Memenuhi standar
3 PC	130,58%	2,66%	Memenuhi standar
6 lampu TL dan 1 AC	21,76%	1,82%	Memenuhi standar
6 lampu TL dan 1 PC	36,27%	0,91%	Memenuhi standar
6 lampu TL, 1 AC dan 1 PC	21,67%	1,91%	Memenuhi standar
1 AC dan 1 PC	28,90%	2,02%	Memenuhi standar
24 lampu TL dan 2 AC	15,68%	2,88%	Memenuhi standar
24 lampu TL dan 3 PC	34,74%	3,08%	Memenuhi standar
24 lampu TL, 2 AC dan 3 PC	19,27%	4,38%	Memenuhi standar
2 AC dan 3 PC	29,08%	4,46%	Memenuhi standar

Semua pengujian yang dilakukan sudah memiliki THD arus yang memenuhi standar yang diizinkan oleh IEEE 519-1992 yaitu sebesar 5%. Filter pasif yang dirancang untuk mereduksi harmonisa arus sampai memenuhi standar yang diizinkan yaitu sebanyak delapan buah. Filter pasif yang dirancang yaitu sebanyak tiga buah filter orde 5, tiga buah filter orde 7 dan 2 buah filter orde 11.

5. Kesimpulan

Berdasarkan hasil simulasi dan analisa yang dilakukan, maka didapat beberapa kesimpulan yaitu sebagai berikut :

1. Kelompok beban yang memiliki THD arus yang paling kecil yaitu kelompok beban lampu TL enam lampu sebesar 11,19%. Kelompok beban yang memiliki THD arus yang sedang yaitu kelompok beban *air conditioner* (AC) satu unit dan pengujian dua unit AC yang masing-masing pengujian memiliki THD sebesar 29,61% dan 25,52%. Kelompok beban yang memiliki THD arus yang paling besar yaitu kelompok beban komputer (PC) tiga unit sebesar 130,58%.
2. Pengujian yang memiliki nilai THD arus paling kecil ketika dilakukan variasi beban yaitu pada pengujian 24 lampu TL dan 2 AC sebesar 15,68%. Pengujian yang memiliki nilai THD arus terbesar ketika dilakukan variasi beban yaitu pada pengujian 6 lampu TL dan 1 PC sebesar 36,27%.
3. Filter harmonisa yang digunakan untuk mereduksi THD arus adalah filter pasif *single tuned*. THD arus yang direduksi dari semua pengujian-pengujian yang dilakukan sampai memenuhi standar yang diizinkan IEEE 519-1992 menggunakan 8 buah filter harmonisa. Filter tersebut yaitu tiga buah filter orde 5, tiga buah filter orde 7, dan tiga buah filter orde 11.

PUSTAKA

1. Alamsyah, Reza Perkasa. (2010). *Analisis Pengaruh Beban Harmonisa (Lampu Hemat Energi) Terhadap Konduktor*. Jurnal Skripsi, Departemen Teknik Elektro Universitas Indonesia.
2. Marsudi, Djiteng. (2011). *Pembangkitan Energi Listrik Edisi Kedua*. Jakarta: Erlangga.
3. Rinas, I Wayan. (2012). *Studi Analisis Losses dan Derating Akibat Pengaruh THD pada Gardu Transformator Daya di Fakultas Teknik Universitas Udayana*. Jurnal Skripsi, Staff Pengajar Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Udayana.
4. Siagian, Parlin. (2013). *Analisa Perbandingan filter harmonisa Single Tuned dan Double*

Tune pada Penyearah Sinusoidal Pulse Width Modulation (SPWM). Jurnal Skripsi, Magister Teknik Jurusan Teknik Elektro Universitas Sumatera Utara.

5. Sopyandi, Endi. (2009). *Perancangan Single Tuned Filter untuk Mereduksi Harmonik Arus dengan Simulasi Program ETAP Power Station 5.0.3*. Skripsi, Program Studi Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Indonesia.
6. Suweden, I Nengah. (2009). *Analisa Penanggulangan THD dengan Filter Pasif pada Sistem Kelistrikan di RSUP Sanglah*. Jurnal Skripsi, Staff Pengajar Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Udayana.