

IMPLEMENTASI DAN PERANCANGAN *FILTER* HARMONISA PADA SISTEM PENERANGAN LAMPU TUBELAMP (TL)

IMPLEMENTATION AND ANALYSIS OF HARMONIC FILTER FOR TUBE LAMP LIGHTNING SYSTEM

Utomo Sandhy Putra P¹, Sigit Yuwono,ST.,M.Sc.,Ph.D², ekki Kurniawan.,ST.,M.Sc.³

Prodi S1 Teknik Elektro, Fakultas Teknik Elektro, Universitas Telkom

¹utomosandhyputra55@gmail.com, ²s.yuwono@gmail.com, ³ekkiKurniawan2012@gmail.com

Abstrak

Lampu TL atau *tube lamp* adalah barang elektronik yang umum digunakan untuk penerangan rumah, perkantoran dan industri karena lampu TL dinilai lebih hemat daya daripada lampu pijar. Namun, ditemukan banyak lampu TL yang melampaui tingkat harmonisa arus standar seperti yang diatur Standar IEC 6100-3-2 class C. Tingkat harmonisa yang terlalu tinggi dapat berdampak buruk pada barang elektronika lain yang terhubung ke jaringan listrik (PLN) yang sama. Untuk mengurangi tingkat emisi arus harmonisa, pada tugas akhir ini dirancang dan diimplementasikan *filter* harmonisa pada sistem lampu TL. Lampu TL yang dijadikan objek penelitian berasal dari produk yang dijual di pasaran.

Filter dirancang untuk bekerja di frekuensi 50 Hz dan diharapkan dapat meredam tingkat harmonisa pada frekuensi ke 2,3,5,7,9,11,15 sesuai yang diatur pada Standar IEC 6100-3-2 class C dari harmonisa sebelum pemasangan *filter*. Dari rancangan *filter* yang diperoleh kemudian dibuat rumus nilai kapasitansi dan induktansi dalam perancangan *filter* harmonisa untuk memperoleh optimalisasi hasil redaman *filter*.

Kata Kunci : lampu TL, harmonisa arus, *filter* daya

Abstract

Tube lamp is an electronic item commonly used for home lighting, office, etc. Because TL lamps are more power efficient than incandescent lamps. However, many LHE lamps are found that surpass the standard harmonic current levels as defined by the IEC 6100-3-2 C class. High levels of harmonics can affect other electronic goods connected to the same power grid (PLN).

To reduce emission level of harmonic current, this final project is designed and implemented harmonic filter on TL lamp system. TL lamps used as research objects derived from products sold on the market. Filters are designed to work at 50 Hz frequency and are expected to reduce harmonics levels at 2nd, 3rd, 5th, 7th, 9th, 11th, 13th and 15th of harmonics before filter installation. From filter design obtained then made value of capacitance and inductance formula in design of harmonic filter to get result of filter damping optimization.

Keywords: Tube Lamp, Harmonic Current, Power Filter

1. Pendahuluan

Pemakaian lampu TL sangat umum digunakan pada industri dan instansi pendidikan bukan hanya karena lebih terang dalam segi fungsi dibandingkan lampu pijar namun juga karena memakai daya yang lebih kecil dibandingkan lampu pijar. Lampu TL pun mempunyai banyak jenis salah satu yang paling lazim kita temui adalah lampu TL neon (Fluorescent lamp), lampu TL mempunyai rangkaian ballast sebagai rectifier dan converter untuk menyalakan lampu TL. Akan tetapi lampu TL memiliki kekurangan yang tidak kasat mata yakni menghasilkan arus harmonisa yang cukup tinggi yang tentunya mempunyai kerugian yang dapat berdampak merugikan efisiensi daya. Hal ini dikarenakan oleh beban yang tidak linier yaitu bahan semikonduktor pada rangkaian ballast pada lampu yang menyebabkan gelombang mengalami gangguan gelombang arus dan tegangan yang pada akhirnya akan kembali ke bagian lain sistem tenaga listrik..

Harmonisa mengakibatkan munculnya gelombang arus sinusoidal dengan kelipatan (2f, 3f, 4f, 5f, dst..) frekuensi sinyal fundamentalnya yaitu 50 Hz. Sinyal harmonisa tersebut terakumulasi sehingga menyebabkan distorsi atau perubahan bentuk gelombang fundamental arus. Dalam *paper* Liem Ek Bien dan Sudarno Distorsi harmonisa dapat menyebabkan menurunnya *power factor*, gangguan listrik ke perangkat elektronika lain secara konduktif, dan mengurangi efisiensi perangkat.

Hal yang dapat dilakukan untuk meredam munculnya harmonisa dari peralatan elektronik adalah mengoptimalkan jalur kelistrikan dan sedapat mungkin melindunginya dari harmonisa dan membuat imun (kebal) peralatan-peralatan elektronik tertentu terhadap pengaruh harmonisa. Semua itu dapat dilakukan dengan penerapan *filter* harmonisa yaitu serangkaian komponen elektronik pasif untuk meredam interferensi gelombang harmonisa ke jalur sumber tenaga kelistrikan pada sistem penerangan lampu TL. Selanjutnya diukur dan dianalisis perubahan

%THDi, harmonisa orde ganjil dan kualitas daya yang terjadi sebelum dan sesudah pemasangan *filter* pada lampu TL. Diharapkan penggunaan *filter* harmonisa ini dapat mengurangi persentase harmonisa sesuai dengan batas standarisasi IEC 6100-3-2

2. Harmonisa

Harmonisa adalah fenomena gelombang sinusoidal tegangan atau arus yang memiliki frekuensi kelipatan dari frekuensi gelombang fundamentalnya. Sebagai contoh, jika frekuensi fundamentalnya adalah 50 Hz maka, harmonisa ke-2nya adalah 100 Hz, harmonisa ke-3nya 150 Hz, dan seterusnya. Gelombang harmonisa ini terakumulasi sehingga menghasilkan sinyal arus atau voltase yang tidak sinusoidal lagi. Contoh gelombang harmonisa dapat dilihat pada gambar 1.



Gambar 1. Gelombang fundamental dan gelombang harmonisnya

Lampu TL yang menggunakan elektronik ballast dirancang untuk menggunakan arus listrik secara hemat dan efisien karena arus listrik hanya dapat melalui komponen semi konduktornya selama periode pengaturan yang telah ditentukan. Namun disisi lain hal ini akan menyebabkan gelombang mengalami gangguan gelombang arus dan tegangan yang pada akhirnya akan kembali ke bagian lain sistem tenaga listrik. Fenomena ini akan menimbulkan gangguan beban tidak linier satu phase

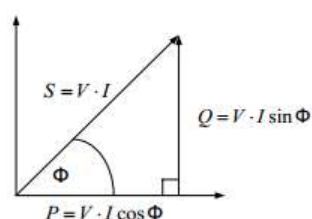
A. Dampak Negatif Harmonisa

Harmonisa arus dapat menghasilkan distorsi sinyal dan beberapa gangguan lainnya secara fisik seperti pada kabel, kapasitor, dan *Circuit Breaker* juga dapat menghasilkan *Electromagnetic Interference* (EMI) dan gangguan pada alat instrumen yang sensitif. Pada kabel, rugi-rugi kabel yang dilewati oleh arus harmonik akan semakin besar akibat meningkatnya resistansi dari tembaga akibat meningkatnya frekuensi efek kulit (*skin effect*) dan efek kedekatan (*proximity effect*). *Skin effect* adalah fenomena yang terjadi pada jaringan listrik AC dimana arus yang mengalir menjauhi pusat kawat konduktor namun mendekati kulit konduktor. Sedangkan *proximity effect* terjadi karena medan magnet penghantar mengganggu distribusi arus pada penghantar-penghantar yang berdekatan. Pada kapasitor, efek yang dihasilkan oleh harmonisa adalah terjadinya resonansi. Resonansi ini dapat memperbesar harmonisa pada beban. Saat resonansi terjadi, impedansi sistem hanya dilihat resistif yang sangat kecil, sehingga arus yang masuk akan sangat besar mengakibatkan kerusakan. Harmonisa ini harus dihindari dan tidak bisa ditoleransi dikarenakan dapat mengakibatkan pemanasan pada perangkat, gangguan pada perangkat pengaman, penurunan daya, dan kerusakan kapasitor.

pada mesin-mesin berputar seperti generator dan motor karena harmonisa arus mengakibatkan torsi mekanik seperti getaran dan suara-suara pada mesin tersebut. Torsi sesaat dihasilkan akibat interaksi fluks celah udara dan fluks yang dihasilkan oleh arus harmonisa didalam rotor, torsi ini juga mempengaruhi bentuk kurva torsi kecepatan motor. System komunikasi pun akan terganggu jika berdekatan dengan system tenaga listrik diakibatkan terpengaruh harmonisa.

B. Faktor Daya

Faktor daya adalah suatu ukuran seberapa efektif daya nyata yang bergerak dari sumber tenaga ke beban listrik pada suatu sistem tenaga listrik, atau perbandingan dari daya nyata dengan daya semu. Dibawah ini merupakan hubungan daya nyata (P), daya reaktif (Q), dan daya semu (S).



Gambar 2 Segitiga daya

Menurut definisi faktor daya di atas maka didapat persamaan sebagai berikut:

$$P(Watt) = V \cdot I \cos \phi \dots\dots\dots(3)$$

$$S(VA) = V \cdot I \dots\dots\dots(4)$$

Dari persamaan diatas maka bisa didapatkan besar faktor daya ($\cos \phi$)

$$\begin{aligned} FactorDaya &= \frac{DayaAktif (P)}{DayaSemu(S)} \\ &= \frac{V \cdot I \cdot \cos \phi}{V \cdot I} \\ &= \cos \phi \dots\dots\dots(5) \end{aligned}$$

C. Filter Harmonisa

Filter Harmonisa adalah filter yang akan di implementasikan dalam tugas akhir ini yaitu serangkaian komponen elektronik pasif dalam konfigurasi tertentu yang berfungsi untuk meredam interferensi elektromagnetik harmonisa ke jalur sumber tenaga kelistrikan. Efek distorsi gelombang sinusoidal dapat menyebabkan resonansi yaitu adanya kapasitor pada jaringan sistem tegangan rendah yang biasanya dipakai untuk memperbaiki power factor dapat menimbulkan resonansi pada sistem lokal yang diikuti dengan naiknya arus yang sangat besar yang merugikan kapasitor itu sendiri, frekuensi resonansi tersebut dapat dihitung dengan Persamaan (11)

$$f_r = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} \dots\dots\dots(11)$$

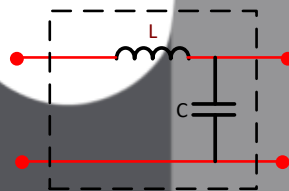
Dimana

f_r = frekuensi resonansi (Hz)

L = Induktor (Henry)

C = kapasitor (Farad)

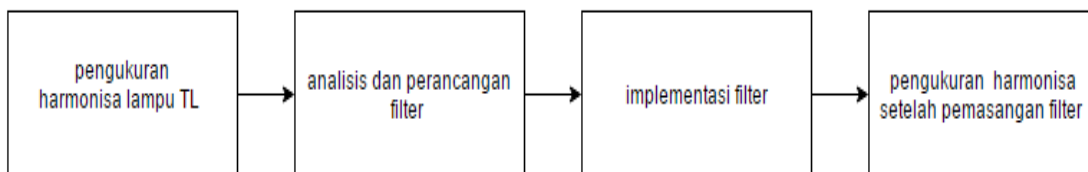
Prinsip kerja filter pasif adalah dengan menahan arus harmonisa (I_h) dan melewatkan arus fundamentalnya (I_s), adapun rangkaian filter yang akan digunakan pada gambar 2.1.



Gambar 4. Rangkaian LC dalam filter harmonisa low pass filter

1. Diagram Blok Umum

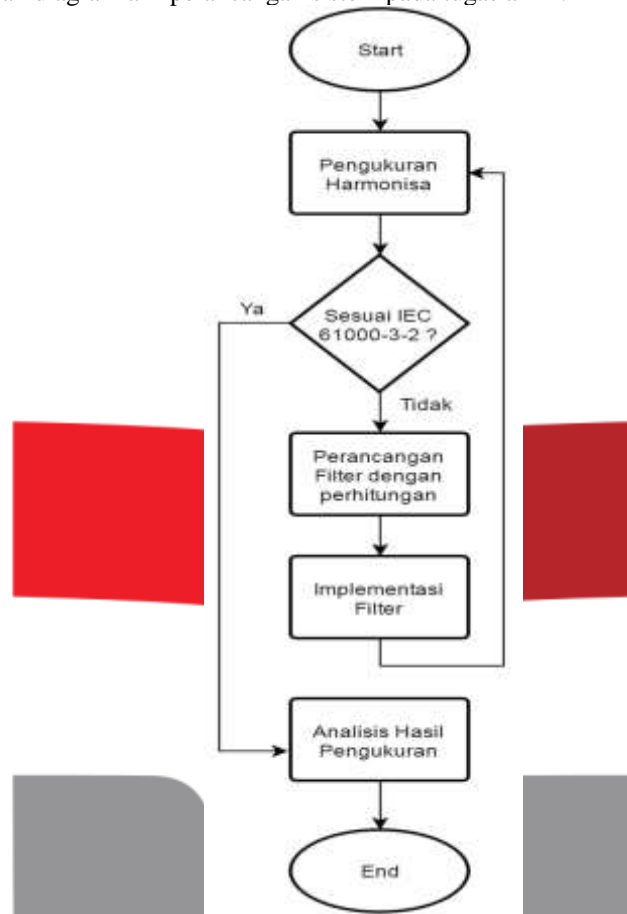
Sistem yang direduksi harmonisanya pada Tugas Akhir ini terdiri dari rangkaian ballast (driver lampu TL), lampu TL, dan catu daya. Filter yang diimplementasi yaitu filter pasif harmonisa. Filter tersebut akan ditempatkan didekat sumber AC yang diharapkan dapat mereduksi harmonisa. Perancangan filter disesuaikan dengan hasil pengukuran harmonisa pada sistem lampu TL. Setelah pemasangan filter lampu akan diukur lagi agar mengetahui apakah harmonisa mengalami reduksi dan lampu telah memenuhi standarisasi IEC 6100-3-2. Pengukuran harmonisa menggunakan alat bernama Harmonic and Power Analyzer. Adapun tahapan penelitian pada tugas akhir ini dapat dilihat pada gambar(4).



Gambar 4. tahapan penelitian untuk membuat filter harmonisa

a. Diagram Alir Perancangan Sistem

Berikut ini adalah diagram alir perancangan sistem pada tugas akhir.



Gambar 5.. Diagram Alir Perancangan sistem

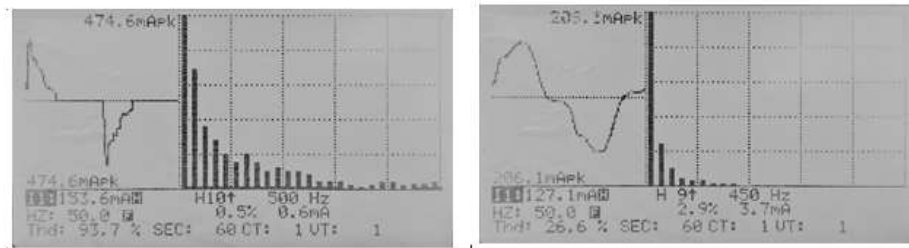
Tahapan proses perancangan *filter* harmonisa arus antara lain, pertama dilakukan terlebih dahulu pengukuran terhadap sistem lampu TL. Selanjutnya dilakukan perhitungan untuk menentukan nilai kapasitor dan induktor *filter*. Dari hasil perhitungan dicari nilai komponen yang sesuai di pasaran lalu dirangkai serta diimplementasi pada lampu LED. Hasil dari pemasangan *filter* tersebut diukur kembali

4. Hasil Percobaan dan Analisa

Pada pengujian ini diimplementasikan *filter* pasif LC pada sistem lampu TL. Komponen penyusun *filter* pasif LC I dan II terdiri dari induktor trafo pada bagian primernya sebesar 1,87 H dan nilai kapasitor AC yaitu 0,6 uF. Pengujian ini bertujuan untuk melihat perubahan parameter-parameter yang terjadi setelah *filter* harmonisa diimplementasikan. Adapun parameter-parameter tersebut adalah %THDi, bentuk gelombang, kualitas daya, dan *power factor*.

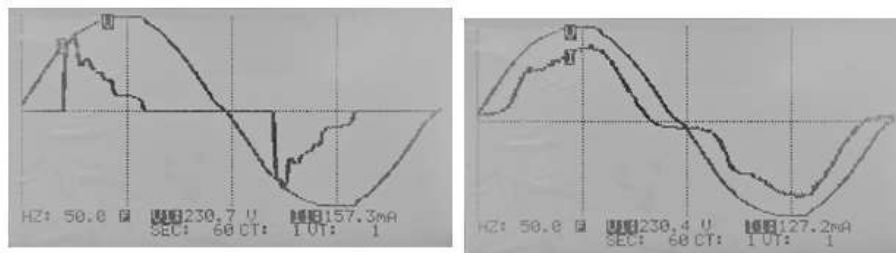
a. Pengujian *filter* pasif LC II ($L = 1,87\text{ H}$ dan $C = 0,3\mu\text{F}$)

Pada pengujian ini dilakukan implementasi *filter* dengan nilai induktor yang ada pada trafo senilai 1,87 H dan kapasitor sebesar 0,3 uF. Pemilihan nilai kapasitor akan dijelaskan lebih lanjut pada sub bab analisis. Pengujian menggunakan kombinasi rangkaian ini lebih baik daripada kombinasi rangkaian *filter* I. Hasil pengukuran menunjukkan %THDi tereduksi dari 92% menjadi 26,7%. Penggunaan *filter* ini sudah memenuhi standarisasi harmonisa IEC 61000-3-2 Class C. Hasil reduksi harmonisa dengan *filter* ini dapat dilihat pada gambar 9.



Gambar 9. Reduksi harmonisa setelah *filter* pasif LC II

Reduksi harmonisa dengan menggunakan *filter* ini juga menghasilkan gelombang arus yang lebih sinus dengan sudut fasa antara arus dan tegangan yang lebih baik yaitu arus *leading* sebesar 1,1° terhadap voltase. Hasil bentuk gelombang arusnya dapat dilihat pada gambar 10.



Gambar 10 Gelombang Arus Setelah implementasi LPF II

Perubahan daya terjadi menjadi lebih baik dibandingkan dengan implementasi *filter* sebelumnya. Dari hasil pengukuran didapatkan adanya peningkatan daya nyata dan *power factor* setelah dilakukan implementasi *filter* pasif LC II ini. Peningkatan daya nyata pada lampu TL meningkat dari 24,4 watt menjadi 28,3 watt, daya distorsi pun berkurang dari 32,8 VAD menjadi 27,2 VAD dan *power factor* dari 0,67 menjadi 0,96. Hasil pengukuran daya dapat dilihat pada tabel 2.

Tabel 3 Perbandingan pengukuran daya setelah *filter* pasif LC II

Parameter	Sebelum Filter	setelah filter II
%THDi (%)	92	26,7
Phase1	24,7	2,7
P (watt)	24,1	28,3
S (VA)	36,5	29,2
Q (VAR)	27,1	7,1
D (VAD)	32,8	27,9
Power Factor	0,67	0,96

Dengan menggunakan *filter* II pada sistem penerangan lampu TL terlihat bahwa *filter* ini berhasil menurunkan frekuensi harmonisa hingga memenuhi standar IEC 61000-3-2 *Class C* yang dapat dilihat pada tabel 4.

Tabel 4 Hasil implementasi *filter* II membuat lampu memenuhi standar harmonisa IEC 61000-3-2 *Class C*

Harmoni c order (n)	Harmonic current emission		
	Standart Class C (%of fund)	Before Filter Installati on	After Filter II Installati on
2	2	0,2	0,2
3	$30 \times \lambda$	68	24,1
5	10	35	10
7	7	27,9	3,5
9	5	20	2,8
11	3	13,8	2,6
13	3	19,7	1,2
$15 \leq n \leq 39$	3	15,2	0,8
THD	± 90	92	26,7

b. Perbandingan Pengujian Sebelum dan Sesudah Implementasi LPF

Setelah dilakukan pengujian implementasi dua filter diatas. Maka, dapat dilakukan perbandingan parameter antara sebelum dengan sesudah implementasi LPF. Perbandingan ini juga menyesuaikan dengan standar IEC 61000-3-2 class C yang menjadi tujuan tugas akhir ini. Hasil perbandingan tersebut dapat dilihat pada table .5 .

Pada table 4.5 ditunjukkan reduksi menggunakan filter kedua dengan nilai L = 1,87 H dan C = 0,3 uF menghasilkan reduksi yang paling baik. Pada gambar 4.10 juga menunjukkan order harmonisa sudah sesuai dengan standar IEC 61000-3-2 class C. Hasil ini dapat membuktikan bahwa filter kedua berhasil mereduksi harmonisa arus mendekati standarisasi IEC 61000-3-2 class C

Tabel 5 Perbandingan harmonisa sebelum dan sesudah implementasi LPF

Harmoni c order (n)	Harmonic current emission			
	Standart Class C (%of fund)	Before Filter Installation	After Filter 1 Installation	After Filter II Installation
2	2	0,2	0,2	0,2
3	$30 \times \lambda$	68	21,6	24,1
5	10	35	19,3	10
7	7	27,9	9,8	3,5
9	5	20	7,3	2,8
11	3	13,8	4,9	2,6
13	3	19,7	2,7	1,2
$15 \leq n \leq 39$	3	15,2	1,7	0,8
THD	± 90	92	32	26,7

Reduksi harmonisa juga menghasilkan penurunan daya distorsi peningkatan daya dan power factor pada sistem lampu LED. Perbandingan daya tersebut dapat dilihat pada tabel 6.

Tabel 6. Perbandingan daya sebelum dan sesudah implementasi LPF

Parameter	Sebelum	setelah	setelah
	Filter	filter 1	filter II
%THDi (%)	92	32	26,7
Phase1	24,7	16,1	2,7
P (watt)	24,1	32,3	28,3
S (VA)	36,5	35	29,2
Q (VAR)	27,1	13,9	7,1
D (VAD)	32,8	33,3	27,9
Power Factor	0,67	0,91	0,96

c. Pengujian filter pada 2 sistem lampu TL

Pengujian dilakukan dengan penambahan satu beban yang sama yaitu beban lampu TL 36 watt dengan merek yang sama. Pengujian ini didasarkan untuk mengetahui spesifikasi filter yang telah dirancang. Hasil reduksi

harmonisa dapat dilihat pada Tabel 7. Dari Tabel 7 didapat adanya penurunan %THDi dari 80,7% menjadi 44,4%. Penurunan daya distorsi dari 72,2 VAD menjadi 61,5 VAD dan terjadi peningkatan *power factor* dari 0,69 menjadi 0,83.

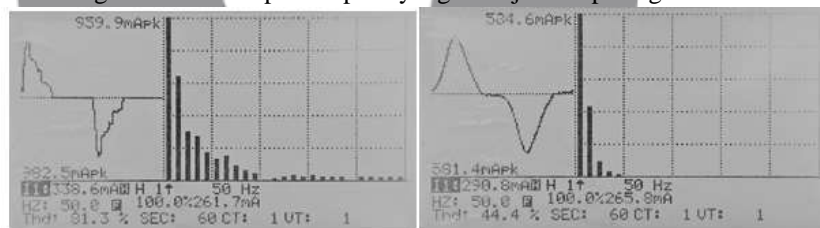
Tabel 7. Perbandingan pengukuran daya dengan 2 beban lampu setelah menggunakan *filter* harmonisa 2

Paramet	Sebelum Filter	setelah filter
%THDi (%)	80,7	44,4
Phase1	26,7	-27
P (watt)	53,8	54
S (VA)	77,8	67,3
Q (VAR)	56,1	-37
D (VAD)	72,2	62,5
Power Factor	0,69	0,83

Tabel 8. Hasil implementasi *filter* II membuat lampu memenuhi standar harmonisa IEC 61000-3-2 Class C

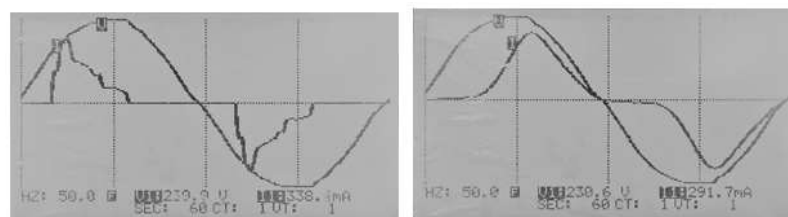
Harmoni c order (n)	Harmonic current emission		
	Standart Class C (%of fund)	Before Filter Installati on	After Filter 1 Installati on
2	2	0,2	0,2
3	30×λ	64,4	45,5
5	10	30,4	13,1
7	7	25,8	5,5
9	5	16,3	1,1
11	3	13,9	0,4
13	3	15,3	0,2
15≤n≤39	3	7,5	0,2
THD	±90	80,7	44,4

Setelah mengimplementasikan *filter* harmonisa ke sistem penerangan 2 lampu TL didapatkan juga perbaikan bentuk sinyal dan berhasil mereduksi tingkat harmonisa pada seperti yang ditunjukkan pada gambar 11 dan 12 di bawah ini



Gambar 11. Reduksi harmonis dengan beban 2 lampu menggunakan *filter* pasif LC II

Gambar 12. Gelombang arus terlihat lebih sinus pada beban 2 lampu setelah menggunakan *filter* pasif LC



Gambar 12. Gelombang arus terlihat lebih sinus pada beban 2 lampu setelah menggunakan *filter* pasif LCII

5. Kesimpulan dan Saran

• Kesimpulan

Berdasarkan tahapan perancangan, pengujian, pengukuran, dan analisis implementasi *filter* pasif harmonisa pada sistem penerangan lampu TL maka didapat kesimpulan sebagai berikut:

1. Hasil implementasi *low pass filter* berhasil mengurangi %THDi sebesar 70% yaitu dari 93% menjadi 29%.
2. Hasil pengukuran pada harmonisa ke-3,7,9,11,13,15 setelah implementasi *filter* harmonisa *low pass filter* memperlihatkan kesesuaian dengan standar IEC 61000-3-2 class C.
3. Berkurangnya harmonisa pada lampu TL menyebabkan *power factor* meningkat dari 0,66 menjadi 0,96 dan daya nyata meningkat dari 23 watt menjadi 27 watt serta berkurangnya Irms dari 157 mA menjadi 128 mA. Hal ini menunjukkan adanya peningkatan kualitas daya pada lampu TL

• Saran

Beberapa saran yang dapat menjadi masukan untuk penelitian dan pengembangan dari tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Untuk penelitian berikutnya lebih baik mendesain *driver* lampu sendiri dengan merombak komponen L dan C pada *driver* khusus yang memang dibuat untuk menghasilkan harmonisa arus yang rendah dengan *power factor* yang baik, sehingga dapat menyesuaikan dengan standarisasi produk penerangan.
2. perancangan *filter* juga harus memperhatikan besar beban sistem yang di *filter*. Ini dimaksudkan agar *filter* tidak *overload* dan dapat bekerja dengan optimal dengan spesifikasi yang tepat.

Daftar Pustaka

- [1] Liem Ek Bien, Sudarno (2004): *Pengujian Harmonisa Dan Upaya Pengurangan Gangguan Harmonisa Pada Lampu Hemat Energi*, ISSN 1412-0372
- [2] M. Ramdhani (2008) "Rangkaian Listrik," dalam *Rangkaian Listrik*, Jakarta, Erlangga, , pp. 269-334.
- [3] Kodali., Prasad., (1996). *Engineering Electromagnetic Compatibility*, IEEE, New York.
- [4] R. Elliott (2012) "Elliot Sound Products," Elliot Sound Products, [Online]. Available: <http://sound.westhost.com/lamps/power-factor.html>. [Diakses 5 Juni 2017].
- [5] E. Kurniawan, Bandung (2014): *Implementasi dan Analisis Insertion Loss Pada Filter Berdaya Rendah Berbasis Elektromagnetik Compatibility*.
- [6] J. Das (2015): *Power System Harmonics and Passive Filter Design*, New Jersey, John Wiley & Sons, pp. 331-377.
- [7] Schneider Electric (2009), "Schneider Electric," June. [Online]. Available: www.schneider-electric.com. [Diakses 4 April 2016].
- [8] Schaffner, "Schaffner," (2006). [Online]. Available: <http://www.schaffner.com>. [Diakses 18 Juni 2017].
- [9] Hadeed Ahmed Sher, Khaled E. Addoweesh and Yasin Khan: *Harmonics Generation, Propagation and Purging Techniques in Non-Linear Loads*, Dr. Dylan Lu (Ed.), InTech, DOI: 10.5772/53422, ISBN 978-953-51-1079-8.
- [10] Aris Pramnamto (2008): *Analisis penggunaan single tuned filter sebagai salah satu solusi masalah harmonik pada beban rumah tangga*. Jakarta, Universitas Indonesia,
- [11] Suryono, Sutedjo, M. Zaenal Efendi, Adrias Ade, Sigit Prasetya : *Filter Arus Untuk Mereduksi Dan Memanfaatkan Harmonisa ke 5 dan ke 7 Pada Beban Konverter 6 Pulsa Sebagai Sumber Energi Dengan Menggunakan Full Bridge DC-DC Converter dan Inverter*, Teknik Elektro Industri, Politeknik Negeri Surabaya, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS) Surabaya.