

## RANCANG BANGUN FILTER PASIF UNTUK MEREDUKSI *TOTAL HARMONIC DISTORTION* (THD) AKIBAT PEMAKAIAN LAMPU HEMAT ENERGI (LHE) DAN *LIGHT EMITTING DIODE* (LED)

Alfronso Sinurat<sup>1\*</sup>, Antonius Doddy Tyas Prasetyo<sup>2</sup>, Eva Magdalena Silalahi<sup>3</sup>, Bambang Widodo<sup>4</sup>, Robinson Purba<sup>5</sup>

<sup>1</sup>Mahasiswa S1 Program Studi Teknik Elektro Universitas Kristen Indonesia Jakarta

<sup>2,3,4,5</sup>Program Studi Teknik Elektro Universitas Kristen Indonesia Jakarta

\*e-mail korespondensi: [alfronsosinurat91@gmail.com](mailto:alfronsosinurat91@gmail.com)

**Abstrak** – Pada makalah ini dibahas tentang rancang bangun sebuah sistem filter pasif untuk penghemat energi pada Lampu Hemat Energi (LHE) dan *Light Emitting Diode* (LED) namun pada lampu LHE dan LED untuk *Total Harmonic Distortion* arus (THDi) yang tidak memenuhi standar. Untuk menurunkan THD arus, dapat dilakukan dengan memasang filter pasif *single tune*. Dalam makalah ini, dibahas tentang rancang bangun sebuah sistem filter pasif menggunakan perancangan filter dengan matlab *simulink* untuk mengetahui besar komponen dalam perancangan filter. Untuk mereduksi tingkat harmonisa arus, dirancang filter pasif *single tune* yang terdiri dari komponen induktor dan kapasitor (LC) pada LHE dan LED. Berdasarkan data hasil penelitian yang telah dilaksanakan, hasil pengukuran THDi terhadap uji beban lampu setelah menggunakan filter adalah sebesar 49.12% untuk rangkaian LED, 41.86% untuk rangkaian LHE dan 11.59% untuk rangkaian kombinasi LED dan LHE. Berdasarkan hasil tiap pengukuran, dapat diketahui bahwa belum ada yang memenuhi standar IEEE 519-2014. Pada penelitian ini, hanya menggunakan filter yang di-*tuning* pada orde ke-3 saja, dan berdasarkan hasil simulasi, sudah memenuhi standar IEEE 519-2014 yaitu sebesar 1.11%. Hasil perancangan dan pengujian alat (filter) menunjukkan belum memenuhi standar IEEE 519-2014 yaitu sebesar 11.59%.

Kata kunci : filter pasif, harmonisa, THD, *single tune LC*, IEEE 519-2014

**Abstract** – This paper discusses the design of a passive filter system for energy saving in Energy Saving Lamps (LHE) and Light Emitting Diode (LED), but for LHE and LED lamps for current Total Harmonic Distortion (THDi) that do not meet the standard. To reduce the current THD, it can be done by installing a single tune passive filter. In this paper, we discuss the design of a passive filter system using a filter design with Matlab Simulink to determine the size of the components in filter design. To reduce the level of current harmonics, a single tune passive filter is designed which consists of an inductor and capacitor (LC) on the LHE and the LED. Based on the research data that has been carried out, the THDi measurement results for the lamp load test after using the filter are 49.12% for the LED circuit, 41.86% for the LHE circuit and 11.59% for the combined LED and LHE circuit. Based on the results of each measurement, it can be seen that none have met the IEEE 519-2014 standards. In this study, only using a filter tuned to the 3rd order, and based on the simulation results, it meets the IEEE 519-2014 standard, which is 1.11%. The results of the design and testing of tools (filters) show that they do not meet the IEEE 519-2014 standards, namely 11.59%.

Keywords : passive filter, harmonics, THD, *single tune LC*, IEEE 519-2014.

## 1. PENDAHULUAN

Teknologi peralatan listrik saat ini telah berkembang pesat, yang banyak menggunakan elektronika daya karena dapat menghemat energi listrik[1]. Pada peralatan listrik, yang berbasis teknologi elektronika daya, arus masukannya non sinusoidal dan mengandung harmonik. Beban – beban listrik yang arus masukannya berbentuk non sinusoidal atau mengalami cacat (distorsi) gelombang, disebut beban non linier, dimana “indeks cacat gelombang tersebut dinyatakan dalam persen yang disebut *Total Harmonic Distortion* (THD).”

Lampu menjadi peralatan listrik yang sangat penting dan banyak digunakan untuk penerangan pada pelanggan rumah tangga, komersil, sosial dan lain sebagainya. Dengan demikian, perlu upaya pengembangan teknologi lampu untuk penghematan energi. Salah satu upaya yang dilakukan oleh perusahaan penyedia listrik adalah bekerja sama dengan pemerintah dan pihak swasta (produsen lampu) untuk menciptakan lampu hemat energi.

Dewasa ini telah tersedia lampu yang hemat energi, antara lain *compact fluorescent lamp* (CFL/LHE) serta *light emitting diode* (LED) yang mempunyai efisiensi tinggi, yaitu menghasilkan intensitas cahaya cukup tinggi terhadap daya yang diserap (lumen/watt tinggi)[1]. Namun demikian, jenis lampu hemat energi tersebut mempunyai beberapa karakteristik, diantaranya mengakibatkan gelombang arus dan tegangan mengalami distorsi atau timbulnya gelombang harmonisa[2]. Dengan demikian, ketiga jenis lampu tersebut dapat digolongkan jenis beban non linier karena dapat menyebabkan “distorsi pada gelombang arus, yang mana disebut sebagai distorsi harmonisa.”

Harmonisa ini dapat menurunkan kualitas daya listrik. Penurunan kualitas daya listrik dapat ditandai dengan terjadinya peningkatan panas, peningkatan rugi-rugi akibat *skin effect*, peningkatan rugi-rugi dielektrik pada isolasi dan peningkatan rugi-rugi histerisis[3]. Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Nana Heryana, Handoko Rusiana Iskandar, Bambang

Widodo dan Robinson Purba yang dipublikasikan pada tahun 2019 pada jurnal “JTERA (Jurnal Teknologi Rekayasa),” volume 4, nomor 1, halaman: 99-108 dengan judul “*Compact Fluorescence Lamp Based on Power Electronics Technology : Its Advantages and Disadvantages* (2019)”[4] memaparkan data hasil penelitian dari enam sampel pengujian lampu CFL yaitu dengan tegangan sumber 220-234 volt, THD tegangan kurang dari 2%, THD arus 63,8-72% *root mean square* (rms), melalui penelitian tersebut didapat bahwa penggunaan lampu CFL dapat menyebabkan THD arus yang besar sehingga dapat berpengaruh buruk terhadap sistem kelistrikan.

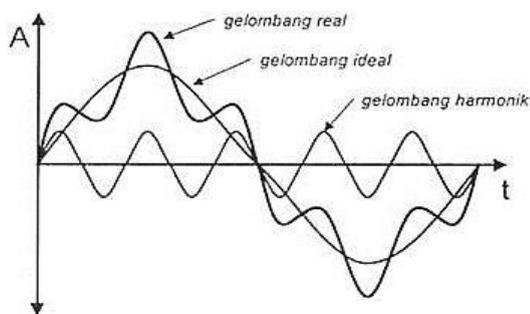
Penelitian yang dilakukan oleh Feren Susanto dari Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Kristen Indonesia, Jakarta, yang hasilnya dituangkan pada makalah dengan judul, “*Simulation of Passive Filter Design to Reduce Total Harmonic Distortion (THD) in Energy-Saving Lamps (LHE) and Light Emitting Diode (LED)*” dan dipresentasikan pada seminar, *1<sup>st</sup> INTERNATIONAL CONFERENCE ON SUSTAINABLE ARCHITECTURE AND ENGINEERING*, Wednesday, 28<sup>th</sup> October 2020, diselenggarakan oleh Fakultas Teknik, Universitas Kristen Indonesia, Jakarta, Indonesia, menjelaskan bahwa, penggunaan filter pasif *single tune ladder LC* dapat mereduksi THDi pada LHE dan LED sebesar 46.78% dari THDi awal sebesar 84.55% sehingga THDi menjadi 37.77%[5]. Penelitian ini juga memperlihatkan bahwa, THD pada lampu LHE dan LED, belum memenuhi standar IEEE 519-2014. Oleh karena itu, diperlukan penelitian lebih lanjut yang mencakup pengukuran THD terhadap lampu, dilanjutkan dengan rancang bangun filter pasif yang dapat menurunkan THD sehingga memenuhi standar IEEE 519-2014, melalui simulasi perancangan filter *single tune* tunggal.

## 2. LANDASAN TEORI

Harmonisa merupakan gelombang tegangan atau arus listrik yang timbul pada sistem tenaga listrik *Alternating Current* ( AC) akibat penggunaan beban non-linier. Gelombang ini memiliki frekuensi yang besarnya kelipatan dari frekuensi dasar sistem. Biasanya besaran harmonisa untuk setiap frekuensi harmoniknya diperoleh dengan menguraikan gelombang dengan menggunakan deret *Fourier* yang diturunkan dari gelombang periodiknya. Parameter besarnya harmonisa sering dinyatakan dengan

THD. Beban listrik non linier adalah beban listrik yang memiliki sifat menyimpang dari hukum ohm [6]. Tegangan, arus, dan impedansi tidak sebanding, artinya respon arus beban yang muncul tidak sebanding dengan tegangan yang diberikan, seperti unit komputer, *printer*, *scanner*, disebut juga sebagai sumber harmonisa. Pada beban linier respon arus beban yang muncul sebanding dengan tegangan yang diberikan. Harmonisa merupakan fenomena dimana bentuk gelombangnya mempunyai frekuensi-frekuensi tinggi merupakan kelipatan dari frekuensi dasarnya seperti (100Hz, 150Hz, 200Hz, dan seterusnya) yang dapat mengganggu suplai daya listrik pada frekuensi dasarnya (50Hz), sehingga bentuk gelombang arus maupun tegangan yang idealnya adalah sinusoidal murni akan menjadi cacat akibat distorsi yang terjadi.

Gambar 1 memperlihatkan bentuk gelombang fundamental dengan gelombang harmonisanya. Hal ini disebabkan karena pemakaian beban non linier yang umumnya merupakan peralatan elektronik yang didalamnya terdapat komponen semikonduktor, yang dalam proses kerjanya berlaku sebagai saklar yang bekerja pada setiap siklus gelombang dari sumber tegangan.

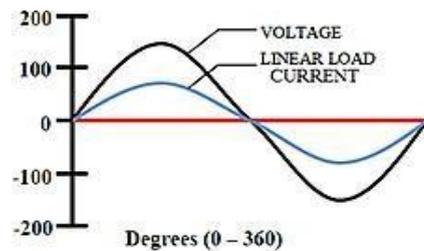


Gambar 1. Gelombang Harmonisa[4].

Beban linier adalah beban yang komponen arusnya proporsional terhadap tegangannya. Terdapat hubungan yang linier antara arus dan tegangan sehingga bentuk gelombang arus akan sama dengan bentuk gelombang tegangannya. Beban linier menyerap arus sinusoidal bila disuplai oleh tegangan sinusoidal. Contoh beban linier antara lain motor listrik, pemanas, lampu

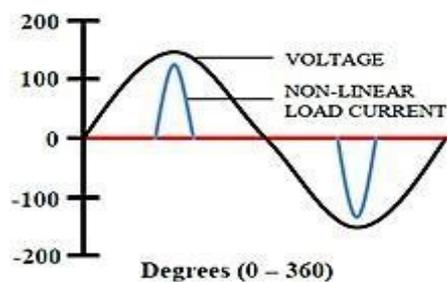
pijar, dan lainnya.

Gambar 2 memperlihatkan bentuk gelombang sinusoidal dari beban linier. Linier yang dimaksud adalah hubungan antara arus dan tegangan memiliki bentuk gelombang yang sama.



Gambar 2. Bentuk gelombang arus dan tegangan pada beban linier.

Beban non linier sebagian besar pada umumnya merupakan beban atau peralatan listrik yang memanfaatkan saklar semikonduktor untuk memotong tegangan dalam kecepatan tinggi, sehingga bentuk gelombang arus dapat menjadi cacat (terdistorsi). Gambar 3 memperlihatkan bentuk gelombang arus dan tegangan yang tidak sama atau tidak linier. Hal ini terjadi karena komponen arus yang tidak proposional terhadap tegangan. Persamaan arus sesaat, dituliskan pada persamaan [1],



Gambar 3. Bentuk gelombang arus dan tegangan pada beban non linier

$$i(t) = I_1 \sin(\omega t + \phi_1) + I_2 \sin(2\omega t + \phi_2) + I_3 \sin(3\omega t + \phi_3) + \dots + I_n \sin(n\omega t + \phi_n) \quad [1]$$

Dan dalam bentuk arus efektif atau *root mean square (rms)*, dituliskan pada persamaan [2].

$$I_{rms} = \sqrt{I_1^2 + I_2^2 + I_3^2 + \dots + I_n^2} \quad [2]$$

dimana :

$I$  = arus sesaat (A)

= arus maksimum (A)  
= arus *rms* (A)  
 $\omega$  = kecepatan sudut (rad/detik)  
 $t$  = waktu (detik)  
 $\varphi$  = sudut fasa ( $^{\circ}$ )

Batas THDi yang direkomendasikan bagi pelanggan yang terhubung dengan sistem dengan tegangan berkisar antara 120 V sampai 169 kV disesuaikan dengan *short circuit ratio* (rasio hubung pendek). *Short circuit ratio* dapat dihitung berdasarkan persamaan [3] [7].

$$\text{Short circuit ratio} = \text{---} \quad [3]$$

merupakan arus hubung pendek yang dapat ditentukan berdasarkan persamaan [4].

$$= \frac{1000}{\text{---}} \quad [4]$$

merupakan arus beban penuh yang dapat ditentukan berdasarkan persamaan [5].

$$= \frac{\text{---}}{\cos} (\text{ampere}) \quad [5]$$

keterangan:

P = daya rata-rata/aktif (kW)

Power Factor (PF) =

S = daya nyata (MVA)

V = tegangan saluran (kV)

### 3. METODOLOGI PENELITIAN

Penelitian merupakan upaya untuk memecahkan masalah-masalah secara sistematis yang dilakukan manusia menggunakan potensi dan kemampuan berfikir. Untuk memecahkan masalah tersebut perlu dilakukan dengan metode yang tepat untuk mempermudah pemecahan suatu masalah. Dalam penelitian ini, metode yang digunakan adalah metode kuantitatif. Metode penelitian kuantitatif merupakan salah satu metode dalam melakukan penelitian, yang menguji teori tertentu dengan cara memperhatikan hubungan antara variabel yang digunakan dalam eksperimen[8].

Adapun macam-macam variabel yang digunakan pada penelitian ini antara lain :

a. Variabel terikat (*dependent variables*)

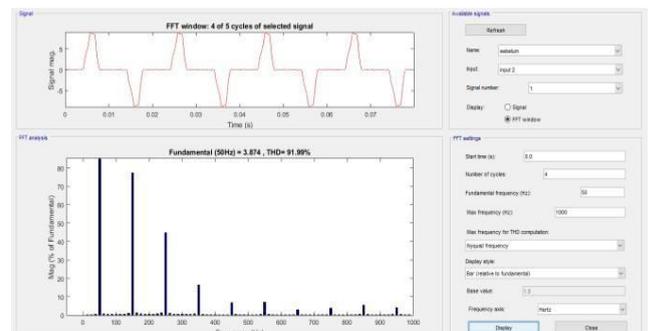
merupakan variabel yang nilainya bergantung pada variabel bebas atau hasil dari pengaruh variabel bebas.

- b. Variabel bebas (*independent variables*) merupakan variabel yang menyebabkan, mempengaruhi, atau berefek pada hasil pengujian.
- c. Variabel *moderating* merupakan variabel yang dikonstruksikan oleh peneliti dengan cara mengambil satu variabel dan mengalikannya dengan variabel lain untuk mengetahui dampak dari keduanya.

Dalam penelitian ini, metode penelitian yang digunakan adalah metode kuantitatif untuk menganalisa keandalan filter pasif yang dibangun.

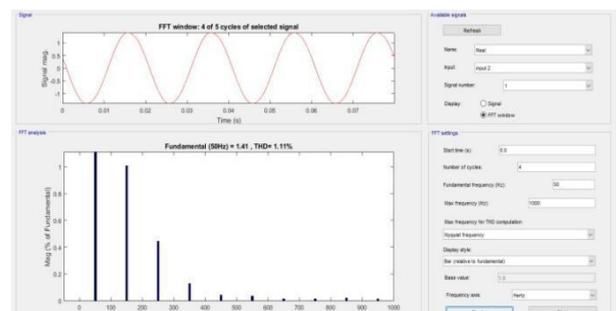
## 4. HASIL PENELITIAN DAN ANALISIS

Penelitian yang dilakukan menggunakan beban berupa lampu jenis LHE dan LED sebanyak enam puluh buah, dengan kombinasi besaran daya yang bervariasi (ukuran daya untuk lima lampu hemat energi sama) sebesar 8 watt, 9 watt, 14,5 watt, 16 watt, 18 watt, 19 watt, 20 watt, 23 watt.



Gambar 4. Bentuk gelombang arus (atas) dan spektrum frekuensi harmonisa (bawah) hasil simulasi rangkaian sebelum pemasangan filter pasif LC.

Gambar 4 diatas memperlihatkan bentuk gelombang arus pada LED dan LHE. Terlihat bahwa, bentuk gelombang arus mengalami distorsi dan nilai THD arus sebesar 91.99%.



Gambar 5. Bentuk gelombang arus (atas) dan spektrum

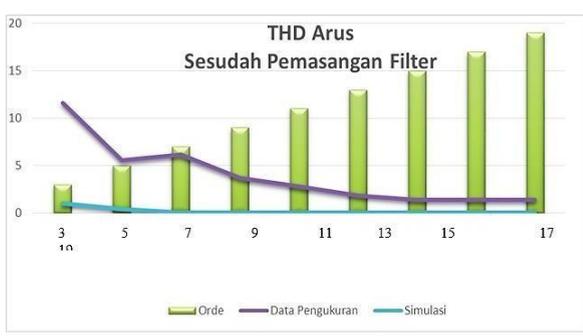
frekuensi harmonisa (bawah) hasil simulasi rangkaian setelah pemasangan filter pasif LC.

Pada gambar 5 diatas memperlihatkan bahwa bentuk gelombang arus mengalami perbaikan, sehingga bentuk gelombangnya lebih sinusoidal dan untuk nilai THD arus sebesar 1.11%, dengan kata lain THD arus pada Lampu LHE dan LED mengalami penurunan sebesar 90.88%.

Tabel 1 dan gambar 6 memperlihatkan perbandingan hasil pengukuran dan simulasi THDi tiap orde, dimulai dari orde 3 s/d 19 (merupakan THD terbesar) yang sudah dipasang filter pasif.

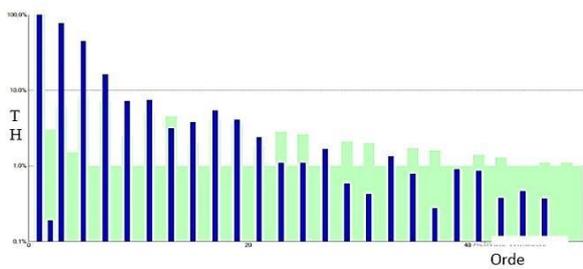
Tabel 1. Perbandingan hasil pengukuran dan simulasi sesudah pemasangan filter.

Sesudah Pemasangan Filter									
THD Arus									
Orde	3	5	7	9	11	13	15	17	19
Data Pengukuran	11,6	5,53	6,13	3,69	2,77	1,85	1,38	1,383	1,383
Simulasi	1,01	0,44	0,13	0,04	0,04	0,01	0,01	0,02	0,01



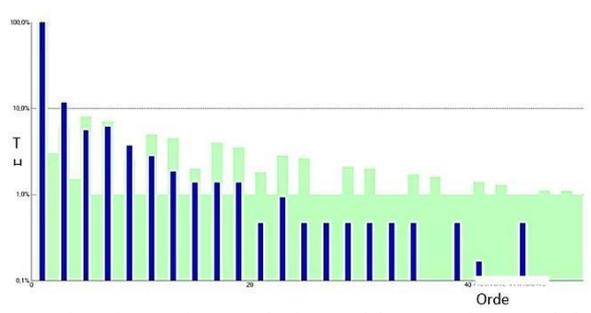
Gambar 6. Grafik perbandingan hasil pengukuran dan simulasi sesudah filter.

Hasil perbandingan THDi pada saat pengukuran sebelum dan sesudah pemasangan filter pasif diperlihatkan pada tabel 2 dan spektrum frekuensi harmonisa diperlihatkan pada gambar 7 dan gambar 8.



Gambar 7. Spektrum frekuensi harmonisa

sebelum pemasangan filter.



Gambar 8. Spektrum frekuensi harmonisa setelah pemasangan filter.

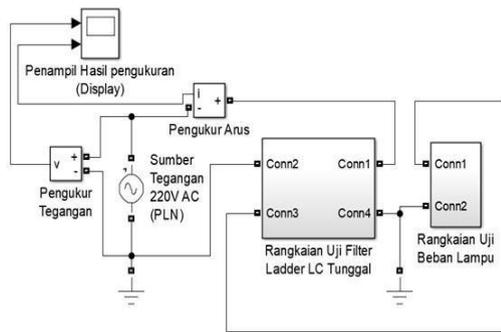
Tabel 2. THDi pada saat pengukuran sebelum dan sesudah pemasangan filter pasif.

%THDi (sebelum)	%THDi (sesudah Filter)	Hasil	IEEE 519-2014 (IHD%)	Keterangan
91,66	11,59	80,07	5%	Belum Memenuhi Standar

Berdasarkan tabel 1 untuk orde ganjil ke 3, 5, 7 diperlukan kajian lebih lanjut sehingga TDi % dapat memenuhi standar IEEE 519-2014. Pada umumnya peralatan listrik yang berbasis elektronika daya memang menghasilkan harmonisa pada orde ganjil khususnya pada orde 3, 5, 7, 9 dan 11. Untuk itu diperlukan penambahan komponen kapasitor dan induktor (LC) sesuai dengan jumlah orde yang dituning dimana pada penelitian ini hanya mentuning pada orde ketiga saja.

### Rancang Bangun Filter Pasif

Setelah melakukan pengukuran pada rangkaian lampu LED dan LHE, ditemukan bahwa, THDi tidak sesuai dengan standar yang telah ditetapkan oleh IEEE 519-2014, sehingga diperlukan penggunaan filter pasif untuk mereduksi THDi. Dari hasil pengukuran tersebut, langkah selanjutnya adalah membuat simulasi filter untuk menentukan komponen-komponen yang diperlukan dalam rancang bangun filter pasif beserta spesifikasi filter. Selanjutnya dilakukan pengukuran kembali untuk melihat penurunan dari THDi yang sudah terpasang filter. Gambar 9 memperlihatkan rangkaian lampu yang digunakan sebagai objek penelitian untuk mengukur THD tegangan dan arus, sebelum menentukan filter yang akan digunakan atau dipasang.



Gambar 9. Rangkaian lampu hemat energi (LHE) dan LED

Gambar 10 memperlihatkan rangkaian filter pasif yang sudah terpasang langsung pada rangkaian lampu LED dan LHE.



Gambar 10. Rangkaian filter pasif LC.

## 5. KESIMPULAN DAN SARAN

### 5.1. KESIMPULAN

Berdasarkan data hasil penelitian yang telah dilaksanakan, dapat disimpulkan sebagai berikut :

1. Hasil pengukuran THDi terhadap uji beban lampu setelah menggunakan filter adalah sebesar 49.12% untuk rangkaian LED, 41.86% untuk rangkaian LHE, 11.59% untuk rangkaian kombinasi LED dan LHE. Berdasarkan hasil tiap pengukuran dapat diketahui bahwa belum ada yang memenuhi standar IEEE 519-2014.
2. Pada penelitian ini, hanya menggunakan filter yang di *tuning* pada orde ke-3 saja, dan hasil simulasi sudah memenuhi standar IEEE 519-2014 yaitu sebesar 1.11%.
3. Hasil perancangan dan pengujian alat (filter) dengan nilai  $L = 0.059$  henry,  $C = 2.1186 \times 10^{-5}$  farad, terjadi penurunan THD arus dari 91.66% menjadi 11.59% namun belum memenuhi standar.

### 5.2. SARAN

Penelitian ini telah berhasil menurunkan THD arus hingga dibawah batas standar IEEE 519-2014 dalam simulasinya, namun karena terbatasnya komponen dalam perancangan alat maka, rancang bangun alat filter dilakukan hanya pada harmonisa ketiga saja. Namun demikian filter ini sudah dapat menurunkan THD arus dari 91.66% menjadi 11.59% namun belum memenuhi standar. Untuk itu diperlukan perancangan alat lebih lanjut sehingga dapat menurunkan THD arus yang memenuhi standar IEEE 519-2014.

### REFERENSI

- [1] Pahiyanti, N. G., & Soewono, S. (2015). *Studi Harmonik Pada Sumber Listrik Akibat Penggunaan Lampu LED, LHE, dan TL*. Jurnal Energi & Kelistrikan, Vol. 7, No. 1, Hal. 28–40.
- [2] Setyaningsih, E., & Suharto, H. (2016). *Pengaruh Distorsi Harmonik pada Compact Fluorescent Lamps*. TESLA, Vol. 18, No. 2, Hal. 113-125.
- [3] Mahmudsyah, Syariffudin. (Sept. 29, 2010). *Pengaruh Harmonisa Terhadap Life Time Transformer*.
- [4] Heryana, N., Iskandar, H. R., Widodo, B., & Purba, R. (2019). *Compact Fluorescence Lamp Based on Power Electronics Technology: its Advantages and Disadvantages*. JTERA (Jurnal Teknologi Rekayasa), Vol. 4, No. 1, Hal. 99-108.
- [5] Feren Susanto., E M, Silalahi., Stepanus., B, Widodo., & R, Purba. (Wednesday, 28<sup>th</sup> October 2020). *Simulation of Passive Filter Design to Reduce Total Harmonic Distortion (THD) in Energy-Saving Lamps (LHE) and Light Emitting Diode (LED)*, 1<sup>st</sup> INTERNATIONAL CONFERENCE ON SUSTAINABLE ARCHITECTURE AND ENGINEERING, Fakultas Teknik Universitas Kristen Indonesia Jakarta, Indonesia.
- [6] Sungkowo, Heri. (2013). *Perancangan Filter Pasif Single Tuned Untuk Mereduksi Harmonisa Pada Beban Non Linier*. ELTEK, Vol 11, Nomor 01, Hal. 146-157.
- [7] Dugan, Roger C., Mark F. M, Santoso, Surya., dan Wayne B, H. (2004), *Electrical Power System Quality*. Mc Graw-Hill.
- [8] Suharsaputra, Uhar, Dr. M.Pd. (2012). *Metode Penelitian: kuantitatif, kualitatif, dan tindakan*.

ISBN 978-602-8650-70-0. IKAPI.

- [9] Putra, U. S., Yuwono, S., & Kurniawan, E. (2017). *Implementasi dan Perancangan Filter Harmonisa Pada Sistem Penerangan Lampu Tubelamp (TL)*. e-Proceeding of Engineering: Vol. 4, No. 3, Hal. 3171-3178.
- [10] Sungkowo, Heri. (2013). *Perancangan Filter Pasif Single Tuned Untuk Mereduksi Harmonisa Pada Beban Non Linier*. ELTEK, Vol 11, Nomor 01, Hal. 146-157.
- [11] IEEE *Recommended Practices and Requirements for Harmonic Control in Electric Power Systems*. IEEE Standard 519-2014.
- [12] Suharsaputra, Uhar. (2012). *Metode penelitian Kuantitatif, Kualitatif, dan Tindakan*. Bandung: PT. Radika Aditama.
- [13] Creswell, John., W. 2009. *Research Design: Pendekatan Kualitatif, Kuantitatif dan Mixed*. Yogyakarta: Pustaka Pelajar.
- [14] Quality, P., Written, S. G., & Kamenka, A. (2014). *Six tough topics about harmonic distortion and Power Quality indices in electric power systems A white paper of the Schaffner Group Written by Alexander Kamenka*.
- [15] Shah, Nikunj. (2013). *Harmonics in Power Systems – Causes, Effects and Control*. USA: Siemens Industry, Inc.
- [16] Francisco, C. (2006). *Harmonics and Power Systems*. Missouri: Taylor & Francis Group, LLC.
- [17] Mubarak, Abdul Haris. (2013). *Identifikasi Lokasi Sumber Harmonik Pada Sistem Tenaga Listrik*, Tesis, Universitas Hasanuddin Makassar.
- [18] Artikel online:  
<https://id.wikipedia.org/wiki/Simulink>  
diakses pada tanggal 8 Juli 2020.
- [19] Sholikhoddin, Mohammad., Afroni, M. Jasa., dan Sugiono. *Studi Perancangan Filter Pasif Untuk Mengurangi Kandungan Harmonisa Menggunakan Matlab 2013b*.