

Pengaruh Distorsi Harmonik pada *Compact Fluorescent Lamps*

Endah Setyaningsih¹, Hang Suharto¹ dan Christian¹

Abstract: *Compact Fluorescent Lamps (CFL) are one of the non-linear load which depicts distorted wave containing harmonics. Harmonics are integer multiplication periodically of the fundamental frequency. Harmonics will worsen the quality of Compact Fluorescent Lamps, one of the results is shorten the lamp life due to excessive overheating. Harmonics can be calculated with Total Harmonic Distortion. This study discusses the effect of harmonic distortion on Compact Fluorescent Lamps, and make Low Pass Filter for reducing THD value. Tests were conducted in this study are testing the effect of the value of THD_V to the value of power factor, the ratio of THD value, power factor and illumination of the expensive one with the cheap one. Based on the results of tests that have been carried out, the value of THD_V has a negative effect on the value of the power factor. THD and power factor value in expensive lamps has no significant difference with cheap lamps, while the value of illumination on the expensive lamps have significant differences with cheap lamps. THD_V and illumination value of the lamps that have not been fitted with filters are bigger than the lamps that have been fitted with a filter, and the filter successfully reduce 88,03% THD_I value of Compact Fluorescent Lamps.*

Keywords: *Compact Fluorescent Lamps, harmonics, THD, power factor, illumination, Low Pass Filter.*

Abstrak: Lampu CFL adalah salah satu beban non-linier yang menggambarkan gelombang yang terdistorsi yang mengandung harmonik. Harmonik adalah perkalian integer secara periodik terhadap frekuensi fundamental. Harmonik-harmonik yang timbul tersebut dapat memperburuk kualitas dari lampu CFL, salah satu akibatnya adalah memperpendek umur lampu tersebut karena overheating yang terlalu berlebihan. Harmonik-harmonik yang timbul tersebut dapat dihitung dengan Total Harmonic Distortion. Penelitian ini membahas mengenai pengaruh distorsi harmonik pada lampu CFL, serta membuat Low Pass Filter untuk mereduksi nilai THD. Pengujian yang dilakukan dalam penelitian ini adalah pengujian pengaruh nilai THD_V terhadap nilai faktor daya, perbandingan nilai THD, faktor daya dan iluminasi lampu mahal dengan lampu murah. Berdasarkan hasil pengujian yang telah dilakukan, nilai THD_V memiliki pengaruh negatif terhadap nilai faktor daya. Nilai THD dan faktor daya pada lampu mahal tidak memiliki perbedaan yang signifikan dengan lampu murah, sedangkan nilai iluminasi pada lampu mahal memiliki perbedaan yang signifikan dengan lampu murah. Nilai THD_V dan iluminasi pada lampu yang belum dipasang filter lebih besar dari lampu yang sudah dipasang filter, dan filter berhasil mereduksi 88,03% nilai THD_I dari lampu CFL.

Kata kunci: Lampu CFL, harmonik, THD, faktor daya, iluminasi, *Low Pass Filter*.

PENDAHULUAN

K keberhasilan atas kegiatan manusia didukung oleh beberapa hal. Salah satu faktor yang mendukung adalah penerangan. Penerangan ini sangatlah berguna untuk seluruh manusia dalam melakukan segala aktivitasnya. Dulu sebelum ada listrik, penerangan ini dibuat dengan segala macam cara, misalnya menggunakan lilin, maka dari itu tak perlu diragukan bahwa lampu adalah salah satu alat elektrik rumah tangga yang pasti dimiliki oleh seluruh masyarakat Indonesia. Lampu yang dipasarkan di Indonesia terdiri dari beberapa macam jenis, salah satunya lampu *fluorescent*. Lampu standar *fluorescent* yang sering digunakan terdiri dari dua bentuk tabung yang berbeda yaitu bentuk U dan bentuk yang lurus. Lampu *fluorescent* tersebut biasanya digunakan untuk penerangan umum karena keefektifan harganya dan keefisienan energinya [1].

Lampu *Fluorescent* atau lampu *Gas Discharge* bertekanan rendah terdiri dari beberapa jenis, yaitu: *Tubular Lamp* (TL), *Soft Lamp* (SL), dan *Compact Fluorescent Lamp* (CFL). Lampu CFL atau yang sering disebut lampu swa-balast adalah lampu hemat energi yang dianjurkan pemerintah Indonesia untuk menggantikan penggunaan lampu pijar yang boros energi. Berdasarkan SNI 04-6504-2001, lampu swa-balast adalah suatu unit yang tidak dapat dipisahkan tanpa merusak secara permanen, dilengkapi kaki lampu yang digabungkan dengan sumber cahaya dan elemen tambahan yang diperlukan untuk penyalaan dan kestabilan sumber cahaya. Lampu CFL merupakan lampu paling banyak diminati, berdasarkan data dari Ketua Umum Asosiasi Perlampuan Indonesia (Aspelindo) perkiraan konsumsi LHE atau lampu swa-balast tahun 2010 mencapai 200 juta unit atau naik dari tahun 2009 lalu yang hanya 160 juta unit [2].

Lampu CFL adalah salah satu peralatan elektronik yang merupakan beban *non-linier*. Sumber daya yang bertindak sebagai *beban non-linier* akan menggambarkan gelombang yang terdistorsi yang mengandung harmonik. Harmonik adalah perkalian *integer* secara periodik terhadap frekuensi *fundamental* [3]. Harmonik-harmonik yang timbul tersebut dapat memperburuk kualitas dari lampu CFL, salah satu akibatnya adalah memperpendek umur lampu tersebut karena *overheating* yang terlalu berlebihan. Harmonik-harmonik tersebut juga dapat menimbulkan efek buruk bagi PLN, yaitu menyebabkan kondisi pembebanan yang semestinya masih mampu dilayani sistem menjadi overload karena meningkatnya arus harmonisa.

Harmonik-harmonik yang timbul tersebut dapat dihitung dengan *Total Harmonic Distortion*. *Total Harmonic Distortion* ini direpresentasikan dalam bentuk persen, yang mana semakin besar nilai THD nya semakin buruk kualitas dari suatu beban *non-linier*, dan apabila nilai THD nya semakin kecil maka semakin baik kualitas dari beban tersebut. Salah satu cara untuk mereduksi nilai THD yang besar tersebut adalah merancang filter untuk hanya melewatkan frekuensi *fundamental* dari beban *non-linier* tersebut (dalam hal ini beban *non-linier* yang dibahas adalah lampu CFL), sehingga frekuensi harmonik yang tidak diinginkan tidak dapat mengganggu performansi dari lampu CFL tersebut.

¹ Jurusan Teknik Elektro, Universitas Tarumanagara Jakarta

Penelitian ini akan menganalisis performansi beberapa lampu CFL yang dijadikan *sample* berdasarkan nilai *Total Harmonic Distortion*.

Compact Fluorescent Lamps

Compact Fluorescent Lamps atau yang sering disebut lampu CFL juga dikenal sebagai lampu hemat energi. Kebanyakan CFL dirancang untuk menggantikan lampu pijar yang boros energi. Jika dibandingkan dengan jenis lampu yang lain, lampu CFL menggunakan daya yang lebih rendah dan memiliki umur yang lebih panjang. Perbandingan *output* daya pada lampu CFL dan pada lampu *Incandescent* dapat dilihat pada Tabel 1. Lampu CFL memancarkan spektrum cahaya yang berbeda dibandingkan dengan lampu *Incandescent*. Komposisi fosfor yang baru telah membuat lampu CFL lebih putih hampir mirip dengan standar warna lampu *Incandescent*. Gambar dari lampu CFL bisa dilihat pada Gambar 1.



■ Gambar 1. Lampu CFL [4]

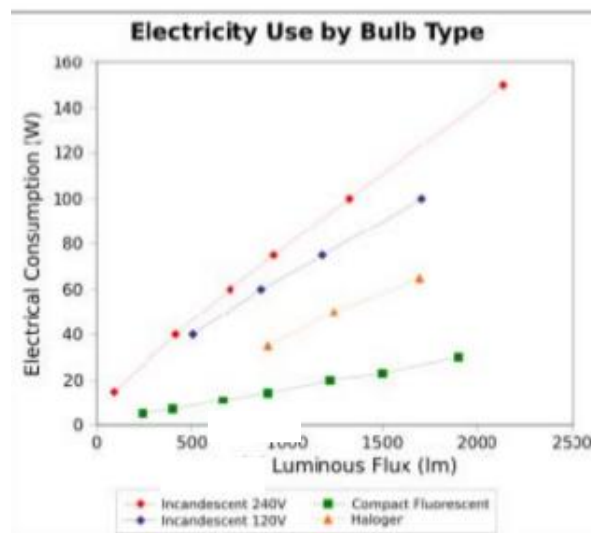
Ada dua bagian pada lampu CFL yaitu tabung yang berisi gas dan balast magnetik/balast elektronik [4]. Arus listrik dari balast mengalir melalui uap merkuri yang memancarkan cahaya *ultraviolet*. Cahaya *ultraviolet* tersebut merangsang lapisan fosfor yang berada di dalam tabung yang menyebabkan lapisan fosfor tersebut memancarkan cahaya yang dapat dilihat oleh mata.

■ Tabel 1. Perbandingan *output* daya pada lampu CFL dan *Incandescent* [4]

| Incandescent lamp | CFL |
|-------------------|------|
| 25 W | 5 W |
| 40 W | 8 W |
| 60 W | 12 W |
| 75 W | 15 W |
| 100 W | 20 W |

Besar rata-rata umur lampu CFL adalah 8 dan 12 kali dari lampu *Incandescent*. Lampu CFL dibuat dengan jangka hidup 6000 dan 10000 jam, sedangkan lampu *Incandescent* hanya 750 dan 1000 jam[4]. Grafik efisiensi daya lampu terhadap fluks cahaya lampu dapat dilihat pada Gambar 2.

Beban linier adalah beban yang memiliki output gelombang linier, yang memiliki arti bahwa arus listrik yang mengalir sebanding dengan impedansi dan perubahan tegangannya, sedangkan beban non-linier adalah beban yang memiliki output gelombang yang bentuk gelombangnya tidak sebanding dengan tegangan sehingga bentuk gelombang arus maupun tegangan keluarannya tidak sama dengan gelombang masukannya atau disebut juga mengalami distorsi [3].

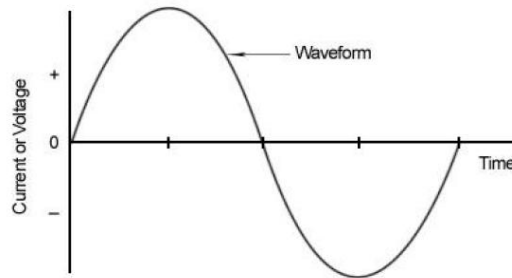


■ Gambar 2. Grafik efisiensi daya lampu terhadap fluks cahaya lampu [4]

Gambar 2. menggambarkan perbandingan antara besarnya daya lampu *Incandescent*, lampu CFL, dan lampu Halogen terhadap fluks cahaya dari masing-masing lampu, dari Gambar 2. dapat disimpulkan bahwa lampu CFL memerlukan daya terendah untuk menghasilkan nilai fluks cahaya terbesar jika dibandingkan dengan lampu-lampu yang lain.

Harmonik

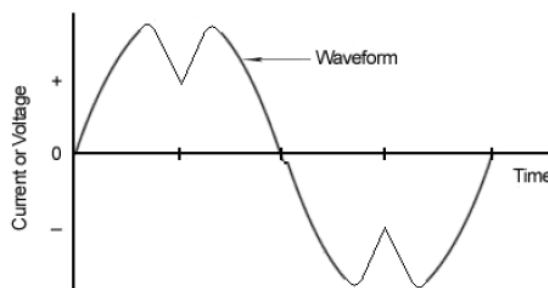
Sistem listrik terbagi atas dua macam, yaitu: *Alternating Current* (AC) dan *Direct Current* (DC). *Direct Current* adalah sistem kelistrikan dengan arus searah, bisa diartikan bahwa nilai arusnya tetap terhadap satuan waktu, contohnya adalah baterai. *Alternating Current* adalah sistem kelistrikan dengan arus dua arah atau bolak balik. Sistem kelistrikan di Indonesia menggunakan sistem AC dengan frekuensi 50 Hz, yang menganut sistem kelistrikan di Eropa, sedangkan di Amerika menggunakan 60 Hz sebagai frekuensi standarnya. Gambar arus bolak balik atau *Alternating Current* bisa dilihat pada Gambar 3.



■ Gambar 3. *Alternating Current* [2]

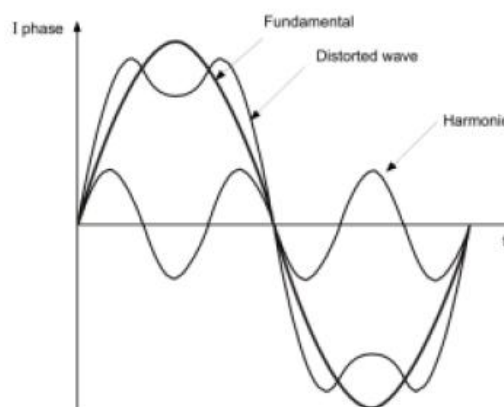
Seperti apa yang terlihat di Gambar 3. bahwa hasil keluaran dari sistem AC adalah sebuah sinuoidal, tetapi dalam kenyataannya keluaran yang diharapkan bukan sebuah sinuoidal murni, melainkan sebuah sinuoidal yang memiliki cacat atau distorsi. Salah satu bentuk dari distorsi sebuah gelombang adalah distorsi harmonik.

Berdasarkan Kamus Besar Bahasa Indonesia, harmonik adalah satu deret bunyi yang masing-masing merupakan kelipatan bulat dari frekuensi dasar; frekuensi dasar berkaitan dengan nada dasar. Pada sistem kelistrikan, harmonik diartikan sebagai perkalian *integer* secara periodik terhadap frekuensi fundamental[2]. Gambar gelombang yang telah terdistorsi dapat dilihat pada Gambar 4.



■ Gambar 4. Gelombang yang telah terdistorsi [2]

Jika frekuensi fundamental yang dipakai 50 Hz, maka frekuensi harmonik kedua adalah 100 Hz, frekuensi harmonik ketiga adalah 150 Hz, dan seterusnya. Gambar 5. akan membedakan frekuensi fundamental dan frekuensi harmonik.



■ Gambar 5. Gelombang yang terdiri dari frekuensi fundamental dan harmonik [3]

Total Harmonic Distortion

Total *Harmonic Distortion* adalah presentase total nilai tegangan/aru harmonik terhadap nilai fundamentalnya [5]. Rumus [6]:

$$THD = \frac{\sqrt{\sum_{n=2}^{\infty} M_n^2}}{M_1} \dots\dots\dots (1)$$

Keterangan :

THD = Total *Harmonic Distortion* (%)

M_n = nilai rms arus atau tegangan harmonik ke-n (ampere atau volt)

M_1 = nilai rms arus atau tegangan fundamental (ampere atau volt)

Individual Harmonic Distortion

Individual Harmonic Distortion adalah perbandingan nilai tegangan/arus harmonik terhadap nilai fundamentalnya, baik tegangan maupun arus. Rumus [6]:

$$IHD_n = \sqrt{\frac{M_n^2}{M_1^2}} \dots\dots\dots (2)$$

Keterangan:

IHD_n = *Individual Harmonic Distortion* orde harmonik ke-n (n=2, 3, dst.)

M_n = nilai rms arus atau tegangan harmonik ke-n (ampere atau volt)

M_1 = nilai rms arus atau tegangan fundamental (ampere atau volt)

Total Demand Distortion

Total *Demand Distortion* adalah perbandingan total nilai arus harmonik terhadap nilai arus beban maksimumnya. Rumus [6]:

$$TDD = \frac{\sqrt{\sum_{n=2}^n \max I_n^2}}{I_L} \dots\dots\dots (3)$$

Keterangan:

I_n = Arus harmonik ke-n (ampere)

I_L = Arus beban maksimum (ampere)

Power Factor

Faktor daya didefinisikan sebagai perbandingan antara daya nyata (dalam watt) terhadap daya semu (dalam VA). Daya nyata adalah produk dari tegangan *root-mean-square* (rms) dan arus rms. Faktor daya berkisar 0-1. Jika faktor daya sama dengan 1 berarti bahwa tegangan dan arus bentuk gelombang berada dalam fase dan gelombang tidak terdistorsi. Dengan kata lain, ketika faktor daya sama dengan 1, daya semu dan daya nyata adalah sama.

Rumus:

$$PF = \frac{P}{S} \dots\dots\dots (4)$$

Keterangan:

PF = *Power Factor*

P = Daya Nyata (watt)

S = Daya Semu (volt ampere/VA)

Iluminasi

Iluminasi atau tingkat pencahayaan adalah perbandingan antara fluks cahaya terhadap suatu permukaan.

Rumus:

$$E = \frac{F}{A} \dots\dots\dots (5)$$

Keterangan:

E = Iluminasi (lux)

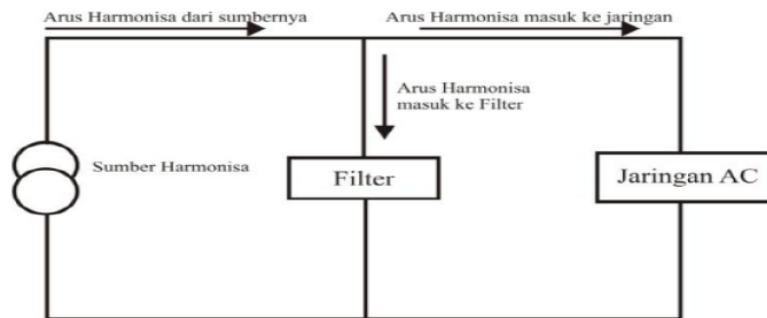
F = Fluks cahaya (lumen)

A = Luas permukaan (m²)

Satu lux sebanding dengan satu lumen per meter persegi [8]. Semakin besar nilai lux semakin besar nilai efisiensi yang didapat. Efikasi Beban Terpasang adalah iluminasi/terang rata-rata yang dicapai pada suatu bidang kerja yang datar per watt pada pencahayaan umum di dalam ruangan yang dinyatakan dalam lux/W/m² atau lumen/W [8].

Filter Harmonik

Filter harmonik ini dibuat untuk mereduksi harmonik-harmonik yang timbul secara tidak diinginkan, yaitu dengan cara mengurangi amplitudo dari frekuensi yang mengandung tegangan harmonik dan arus harmonik. Selain itu, filter harmonik juga dapat memperbaiki faktor daya yang buruk. Filter harmonik ini dipasang secara paralel dengan sumber harmonik dan beban non-linier yang dapat dilihat pada Gambar 6.



■ Gambar 6. Cara pemasangan filter harmonik [3]

Low Pass Filter

Low Pass Filter adalah filter yang berfungsi untuk melewatkan frekuensi di bawah frekuensi *cut off*, dan melemahkan frekuensi di atas frekuensi *cut off*. Low Pass Filter adalah salah satu filter pasif yang hanya menggunakan komponen pasif seperti resistor, induktor dan kapasitor. Low Pass Filter terdiri dari 2 macam yaitu Low Pass RC Filter dan Low Pass LC Filter. Besarnya nilai kapasitor dan nilai resistor untuk membuat Low Pass RC Filter ditentukan oleh nilai frekuensi *cut off* nya, yaitu :

$$f_c = \frac{1}{2\pi RC} \dots\dots\dots (6)$$

Keterangan:

f_c = frekuensi *cut off* (Hz)

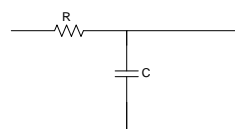
R = Resistor (ohm)

C = Kapasitor (farad)

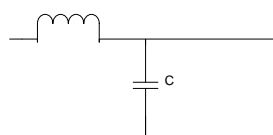
Besarnya nilai induktor dan nilai resistor untuk membuat Low Pass LC Filter ditentukan oleh nilai frekuensi *cut off* nya, yaitu :

$$f_c = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} \dots\dots\dots (7)$$

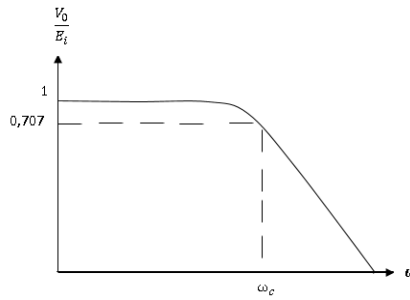
Gambar dari Low Pass RC Filter dapat dilihat pada Gambar 7., Gambar dari Low Pass LC Filter dapat dilihat pada Gambar 8., serta frekuensi respon dari Low Pass Filter dapat dilihat pada Gambar 9.



■ Gambar 7. Low Pass RC Filter



■ Gambar 8. Low Pass LC Filter



■ Gambar 9. Frekuensi respon Low Pass Filter

Tegangan *output* dari Low Pass RC filter tersebut dapat dihitung dengan rumus:

$$V_o = \frac{1}{1+j\omega RC} \times V_i \dots\dots\dots (8)$$

Tegangan *output* dari Low Pass LC filter tersebut dapat dihitung dengan rumus:

$$V_o = \frac{1/j\omega C}{R+j\omega L+1/j\omega C} \times V_i \dots\dots\dots (9)$$

HASIL DAN PEMBAHASAN

■ Tabel 1. Hasil Pengujian Lampu Sebelum dipasang Low Pass RC Filter

| No | Sampel | THD _i | THD _v | PF | Illuminasi (lux) |
|----|--------|------------------|------------------|-------|------------------|
| 1 | P18 | 101,7 | 3,6 | 0,618 | 165,7 |
| 2 | P18 | 98,6 | 3,3 | 0,626 | 164,3 |
| 3 | P18 | 104,1 | 3,9 | 0,612 | 167,5 |
| 4 | P18 | 95,0 | 3,4 | 0,643 | 167,6 |
| 5 | P18 | 92,0 | 3,4 | 0,651 | 167,1 |
| 6 | P18 | 92,4 | 3,4 | 0,649 | 166,5 |
| 7 | H18 | 119,7 | 4,3 | 0,571 | 156,6 |
| 8 | H18 | 116,5 | 4,2 | 0,580 | 156,9 |
| 9 | H18 | 108,2 | 3,9 | 0,598 | 156,8 |
| 10 | H18 | 114,6 | 3,6 | 0,591 | 159,6 |
| 11 | H18 | 110,7 | 3,6 | 0,598 | 153,8 |
| 12 | H18 | 104,5 | 3,5 | 0,618 | 153,6 |
| 13 | O18 | 107,1 | 4,3 | 0,602 | 119,8 |
| 14 | O18 | 106,2 | 3,8 | 0,609 | 119,9 |
| 15 | O18 | 97,4 | 3,5 | 0,639 | 118,7 |
| 16 | O18 | 99,0 | 3,6 | 0,635 | 120,4 |
| 17 | PO18 | 101,0 | 3,6 | 0,607 | 37,5 |
| 18 | PO18 | 104,5 | 3,9 | 0,608 | 37,7 |
| 19 | PO18 | 105,8 | 3,5 | 0,606 | 37,8 |
| 20 | PO18 | 95,3 | 3,5 | 0,637 | 36,9 |
| 21 | PO18 | 97,3 | 3,5 | 0,633 | 37,0 |
| 22 | PO18 | 100,8 | 3,5 | 0,627 | 37,1 |
| 23 | PO18 | 94,6 | 3,5 | 0,638 | 33,1 |
| 24 | PO18 | 101,2 | 3,6 | 0,625 | 33,3 |
| 25 | PO18 | 100,8 | 3,5 | 0,627 | 33,4 |
| 26 | E18 | 111,4 | 3,8 | 0,602 | 156,9 |

| No | Sampel | THD _I | THD _v | PF | Iuminasi (lux) |
|----|--------|------------------|------------------|-------|----------------|
| 27 | E18 | 103,9 | 3,6 | 0,626 | 157,0 |
| 28 | E18 | 102,7 | 3,5 | 0,631 | 156,8 |
| 29 | E18 | 102,0 | 3,5 | 0,632 | 157,3 |
| 30 | E18 | 101,6 | 3,6 | 0,631 | 158,0 |

■ **Tabel 2.** Hasil Pengujian lampu sesudah dipasang *Low Pass RC Filter*

| No | Sampel | THD _I | THD _v | PF | Iuminasi (lux) |
|----|--------|------------------|------------------|-------|----------------|
| 1 | P18 | 12,2 | 3,7 | 0,424 | 148,8 |
| 2 | P18 | 12,3 | 3,6 | 0,423 | 151,4 |
| 3 | P18 | 13,0 | 3,7 | 0,425 | 148,6 |
| 4 | P18 | 12,7 | 3,6 | 0,428 | 150,7 |
| 5 | P18 | 12,8 | 3,5 | 0,425 | 151,7 |
| 6 | P18 | 12,8 | 3,6 | 0,428 | 145,4 |
| 7 | H18 | 13,0 | 3,5 | 0,411 | 142,7 |
| 8 | H18 | 13,1 | 3,6 | 0,410 | 143,3 |
| 9 | H18 | 13,0 | 3,5 | 0,416 | 142,8 |
| 10 | H18 | 13,1 | 3,4 | 0,416 | 143,5 |
| 11 | H18 | 13,1 | 3,4 | 0,416 | 143,1 |
| 12 | H18 | 13,2 | 3,3 | 0,416 | 142,9 |
| 13 | O18 | 13,1 | 3,7 | 0,412 | 111,5 |
| 14 | O18 | 12,6 | 3,6 | 0,412 | 111,8 |
| 15 | O18 | 12,7 | 3,7 | 0,413 | 112,0 |
| 16 | O18 | 12,7 | 3,7 | 0,412 | 111,2 |
| 17 | PO18 | 10,5 | 3,5 | 0,370 | 35,3 |
| 18 | PO18 | 10,7 | 3,5 | 0,370 | 35,6 |
| 19 | PO18 | 11,0 | 3,6 | 0,369 | 35,7 |
| 20 | PO18 | 10,8 | 3,8 | 0,369 | 31,5 |
| 21 | PO18 | 10,9 | 3,9 | 0,369 | 31,4 |
| 22 | PO18 | 10,9 | 3,6 | 0,368 | 31,6 |
| 23 | PO18 | 10,2 | 3,6 | 0,367 | 34,5 |
| 24 | PO18 | 10,0 | 3,5 | 0,367 | 34,1 |
| 25 | PO18 | 11,6 | 3,5 | 0,367 | 34,4 |
| 26 | E18 | 12,9 | 3,5 | 0,397 | 152,0 |
| 27 | E18 | 12,6 | 3,6 | 0,397 | 151,7 |
| 28 | E18 | 12,4 | 3,5 | 0,397 | 151,2 |
| 29 | E18 | 12,6 | 3,5 | 0,397 | 150,8 |
| 30 | E18 | 12,7 | 3,6 | 0,397 | 151,9 |

■ **Tabel 3.** Data lampu setelah dipasang *Low Pass LC Filter Tipe 1*

| No | Sampel | THD _I | THD _v | PF | Iuminasi (lux) |
|----|--------|------------------|------------------|-------|----------------|
| 1 | P18 | 34,4 | 3,7 | 0,039 | 160,8 |
| 2 | P18 | 35,8 | 3,8 | 0,04 | 161,1 |
| 3 | P18 | 30,5 | 3,4 | 0,04 | 161,6 |
| 4 | P18 | 30,3 | 3,3 | 0,04 | 162,7 |
| 5 | P18 | 30,0 | 3,3 | 0,039 | 162,6 |
| 6 | P18 | 30,6 | 3,4 | 0,039 | 163,1 |

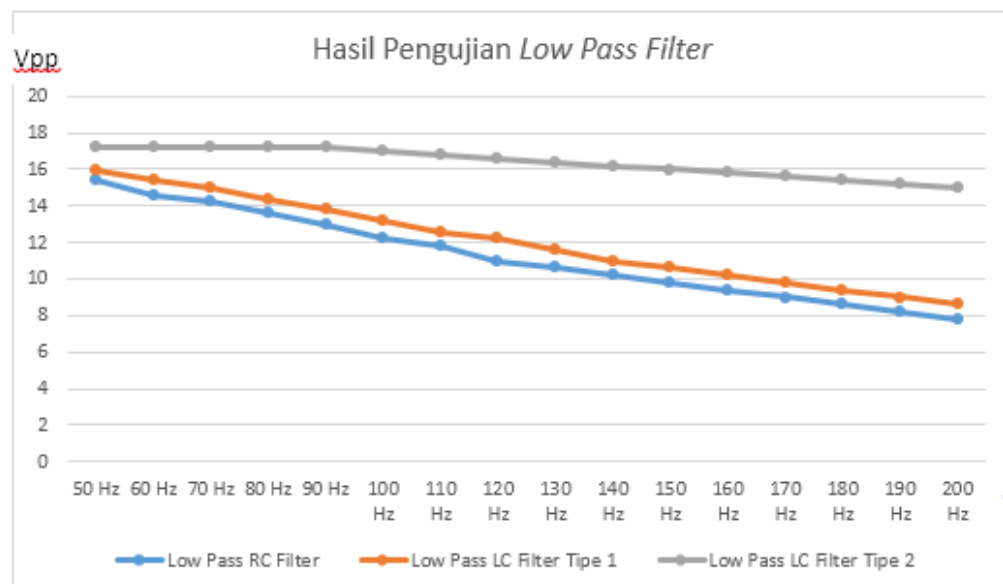
| No | Sampel | THD ₁ | THD _v | PF | Illuminasi (lux) |
|----|--------|------------------|------------------|-------|------------------|
| 7 | H18 | 29,4 | 3,3 | 0,035 | 159,9 |
| 8 | H18 | 29,1 | 3,4 | 0,035 | 159,7 |
| 9 | H18 | 30,5 | 3,4 | 0,036 | 159,3 |
| 10 | H18 | 31,0 | 3,4 | 0,036 | 159,8 |
| 11 | H18 | 35,2 | 3,8 | 0,036 | 160,5 |
| 12 | H18 | 33,3 | 3,7 | 0,036 | 160,2 |
| 13 | O18 | 29,7 | 3,3 | 0,035 | 127,7 |
| 14 | O18 | 29,0 | 3,3 | 0,035 | 128,2 |
| 15 | O18 | 32,7 | 3,5 | 0,035 | 127,5 |
| 16 | O18 | 33,1 | 3,6 | 0,035 | 128,5 |
| 17 | PO18 | 33,2 | 3,5 | 0,019 | 33,3 |
| 18 | PO18 | 35,2 | 3,7 | 0,019 | 33,4 |
| 19 | PO18 | 35,6 | 3,7 | 0,019 | 33,6 |
| 20 | PO18 | 33,0 | 3,5 | 0,018 | 37,6 |
| 21 | PO18 | 33,1 | 3,6 | 0,018 | 37,4 |
| 22 | PO18 | 32,4 | 3,5 | 0,018 | 37,1 |
| 23 | PO18 | 33,7 | 3,6 | 0,018 | 37,2 |
| 24 | PO18 | 34,0 | 3,6 | 0,018 | 37,0 |
| 25 | PO18 | 34,6 | 3,7 | 0,018 | 36,8 |
| 26 | E18 | 34,6 | 3,7 | 0,035 | 157,6 |
| 27 | E18 | 34,2 | 3,6 | 0,035 | 158,3 |
| 28 | E18 | 34,1 | 3,6 | 0,035 | 157,9 |
| 29 | E18 | 35,3 | 3,7 | 0,036 | 161,6 |
| 30 | E18 | 34,8 | 3,7 | 0,036 | 161,1 |

■ Tabel 4. Data lampu setelah dipasang *Low Pass LC Filter* Tipe 2

| No | Sampel | THD ₁ | THD _v | PF | Illuminasi (lux) |
|----|--------|------------------|------------------|-------|------------------|
| 1 | P18 | 33,1 | 3,4 | 0,111 | 155,9 |
| 2 | P18 | 32,6 | 3,5 | 0,111 | 156,7 |
| 3 | P18 | 31,7 | 3,8 | 0,113 | 155,4 |
| 4 | P18 | 32,0 | 3,6 | 0,113 | 155,0 |
| 5 | P18 | 31,5 | 3,6 | 0,111 | 155,3 |
| 6 | P18 | 32,8 | 3,7 | 0,110 | 154,1 |
| 7 | H18 | 31,3 | 3,5 | 0,100 | 154,6 |
| 8 | H18 | 31,9 | 3,6 | 0,100 | 154,4 |
| 9 | H18 | 31,7 | 3,6 | 0,103 | 153,4 |
| 10 | H18 | 30,4 | 3,7 | 0,103 | 153,7 |
| 11 | H18 | 29,1 | 3,7 | 0,103 | 152,7 |
| 12 | H18 | 28,0 | 3,7 | 0,103 | 154,2 |
| 13 | O18 | 29,7 | 3,9 | 0,100 | 116,6 |
| 14 | O18 | 30,3 | 3,7 | 0,100 | 115,8 |
| 15 | O18 | 31,2 | 3,8 | 0,099 | 115,4 |
| 16 | O18 | 30,6 | 3,7 | 0,099 | 113,1 |

| No | Sampel | THD _I | THD _v | PF | Iluminasi (lux) |
|----|--------|------------------|------------------|-------|-----------------|
| 17 | PO18 | 30,3 | 3,5 | 0,059 | 32,3 |
| 18 | PO18 | 29,9 | 3,6 | 0,059 | 32,4 |
| 19 | PO18 | 29,5 | 3,7 | 0,059 | 32,2 |
| 20 | PO18 | 32,4 | 3,5 | 0,059 | 35,3 |
| 21 | PO18 | 32,0 | 3,6 | 0,058 | 35,0 |
| 22 | PO18 | 31,9 | 3,5 | 0,059 | 35,2 |
| 23 | PO18 | 30,2 | 3,4 | 0,057 | 36,9 |
| 24 | PO18 | 30,9 | 3,3 | 0,057 | 37,2 |
| 25 | PO18 | 31,2 | 3,8 | 0,057 | 37,0 |
| 26 | E18 | 30,5 | 3,6 | 0,102 | 160,1 |
| 27 | E18 | 30,9 | 3,4 | 0,102 | 160,3 |
| 28 | E18 | 33,3 | 3,5 | 0,102 | 160,6 |
| 29 | E18 | 33,9 | 3,5 | 0,101 | 160,0 |
| 30 | E18 | 34,0 | 3,6 | 0,101 | 159,8 |

Penelitian ini menggunakan 3 filter yang terdiri dari *Low Pass RC Filter*, *Low Pass LC Filter Tipe 1* dan *Low Pass LC Filter Tipe 2*. Berdasarkan Gambar 10. dapat dilihat bahwa filter yang memiliki nilai *cut off* terbaik adalah *Low Pass RC Filter*, sehingga data dari *Low Pass RC Filter* akan diolah secara statistik.



■ Gambar 10. Hasil Pengujian *Low Pass Filter*

Pengujian Hipotesis Statistik Korelasi *Pearson Product Moment*

Pengujian hipotesis ini bertujuan untuk mengetahui apakah variabel THD_I mempengaruhi variabel faktor daya pada lampu CFL. Data tersebut merupakan data terdistribusi normal. Hasil dari pengujian ini merupakan sebuah koefisien korelasi *r* yang memiliki arti pada setiap nominalnya. Koefisien korelasi terletak antara -1 dan 1, yaitu $-1 \leq r \leq 1$. Jika nilai $r = -1$, maka *r* merupakan korelasi linier negatif (berlawanan arah), artinya terdapat hubungan negatif antar variabel. Jika nilai $r = 1$, maka *r* merupakan korelasi linier positif (searah), artinya terdapat hubungan positif antar variabel. Jika nilai $r = 0$, maka *r* tidak berkorelasi secara linier, artinya tidak terdapat hubungan antar variabel.

Correlations

| | | THDi | Faktor Daya |
|-------------|---------------------|---------|-------------|
| THDi | Pearson Correlation | 1 | -.952** |
| | Sig. (2-tailed) | | .000 |
| | N | 30 | 30 |
| Faktor Daya | Pearson Correlation | -.952** | 1 |
| | Sig. (2-tailed) | .000 | |
| | N | 30 | 30 |

■ **Gambar 11.** Hasil pengujian hipotesis statistik koefisien korelasi THD_I terhadap faktor daya

Kesimpulan dari Gambar 11. adalah $P\text{-value} = 0$ yaitu lebih kecil dari nilai taraf signifikansi=0,05 maka H_0 ditolak sehingga terdapat hubungan antara THD_I dengan faktor daya. Pengujian hipotesis ini menghasilkan koefisien korelasi r sebesar -0,952 sehingga THD_I memiliki hubungan negatif yang sangat kuat dengan faktor daya.

Hipotesis Statistik Uji T Berpasangan untuk THD_I lampu mahal dan lampu murah

Pengujian hipotesis THD_I menggunakan Uji T Berpasangan karena berdasarkan uji kenormalan data yang telah dilakukan, data terdistribusi normal. Data yang diolah dalam pengujian ini adalah nilai THD_I lampu mahal dan nilai THD_I lampu murah. Hasil pengujian hipotesis THD_I lampu mahal dan nilai THD_I lampu murah dapat dilihat pada Gambar 12. dan Gambar 13.

Paired Samples Statistics

| | | Mean | N | Std. Deviation | Std. Error Mean |
|--------|-------------|---------|---|----------------|-----------------|
| Pair 1 | Lampu Mahal | 103.133 | 9 | 10.0476 | 3.3492 |
| | Lampu Murah | 100.144 | 9 | 3.8073 | 1.2691 |

■ **Gambar 12.** Hasil pengujian hipotesis THD_I lampu mahal dan nilai THD_I lampu murah

Paired Samples Test

| | | Paired Differences | | | | t | df | Sig. (2-tailed) | |
|--------|---------------------------|--------------------|----------------|-----------------|---|---------|------|-----------------|-------|
| | | Mean | Std. Deviation | Std. Error Mean | 95% Confidence Interval of the Difference | | | | |
| | | | | | Lower | | | | Upper |
| Pair 1 | Lampu Mahal - Lampu Murah | 2.9889 | 11.0419 | 3.6806 | -5.4987 | 11.4764 | .812 | 8 | .440 |

■ **Gambar 13.** Hasil pengujian hipotesis THD_I lampu mahal dan nilai THD_I lampu murah (lanjutan)

Kesimpulan dari Gambar 12. adalah rata-rata nilai THD_I lampu mahal 103,13 dan rata-rata nilai THD_I lampu murah 100,144. Kesimpulan dari Gambar 13. adalah $P\text{-value} = 0,440$ yaitu lebih besar dari nilai taraf signifikansi=0,05 maka H_0 tidak dapat ditolak sehingga tidak terdapat perbedaan yang signifikan antara THD_I lampu mahal dengan THD_I lampu murah.

Wilcoxon Signed Ranks Test

Ranks

| | | N | Mean Rank | Sum of Ranks |
|---------------------------|----------------|----------------|-----------|--------------|
| Lampu Murah - Lampu Mahal | Negative Ranks | 4 ^a | 5.88 | 23.50 |
| | Positive Ranks | 4 ^b | 3.13 | 12.50 |
| | Ties | 1 ^c | | |
| | Total | 9 | | |

- a. Lampu Murah < Lampu Mahal
 b. Lampu Murah > Lampu Mahal
 c. Lampu Murah = Lampu Mahal

Test Statistics^a

| | | Lampu Murah - Lampu Mahal |
|------------------------|--|---------------------------|
| Z | | -.776 ^b |
| Asymp. Sig. (2-tailed) | | .438 |

■ **Gambar 14.** Hasil pengujian hipotesis THD_V lampu mahal dan nilai THD_V lampu murah

Hipotesis Statistik Uji Peringkat Bertanda Wilcoxon untuk THD_V lampu mahal dan lampu murah

Pengujian hipotesis THD_V menggunakan Uji Peringkat Bertanda Wilcoxon karena berdasarkan uji kenormalan data yang telah dilakukan, data tidak terdistribusi normal. Data yang diolah dalam pengujian ini adalah nilai THD_V lampu mahal dan nilai THD_V lampu murah. Hasil pengujian hipotesis THD_V dapat dilihat pada Gambar 14.

Kesimpulan dari Gambar 14. adalah *P-value* = 0,438 yaitu lebih besar dari nilai taraf signifikansi=0,05 maka H₀ tidak dapat ditolak sehingga tidak terdapat perbedaan yang signifikan antara THD_V lampu mahal dengan THD_V lampu murah. Pengujian hipotesis ini menghasilkan 4 nilai THD_V lampu murah yang lebih kecil dari nilai THD_V lampu mahal, 4 nilai THD_V lampu murah yang lebih besar dari nilai THD_V lampu mahal, dan 5 nilai THD_V yang sama.

Hipotesis Statistik Uji T Berpasangan untuk Faktor Daya lampu mahal dan lampu murah

Pengujian hipotesis faktor daya menggunakan Uji T Berpasangan karena berdasarkan uji kenormalan data yang telah dilakukan, data terdistribusi normal. Data yang diolah dalam pengujian ini adalah nilai faktor daya lampu mahal dan nilai faktor daya lampu murah. Hasil pengujian hipotesis faktor daya lampu mahal dan nilai faktor daya lampu murah dapat dilihat pada Gambar 15. dan Gambar 16.

Paired Samples Statistics

| | Mean | N | Std. Deviation | Std. Error Mean |
|--------------------|--------|---|----------------|-----------------|
| Pair 1 Lampu Mahal | .61644 | 9 | .029168 | .009723 |
| Lampu Murah | .62311 | 9 | .012879 | .004293 |

■ **Gambar 15.** Hasil pengujian hipotesis faktor daya lampu mahal dan nilai faktor daya lampu murah

Paired Samples Test

| | Paired Differences | | | | | t | df | Sig. (2-tailed) |
|----------------------------------|--------------------|----------------|-----------------|---|---------|-------|----|-----------------|
| | Mean | Std. Deviation | Std. Error Mean | 95% Confidence Interval of the Difference | | | | |
| | | | | Lower | Upper | | | |
| Pair 1 Lampu Mahal - Lampu Murah | -.006667 | .032171 | .010724 | -.031396 | .018062 | -.622 | 8 | .551 |

■ **Gambar 16.** Hasil pengujian hipotesis faktor daya lampu mahal dan nilai faktor daya lampu murah (lanjutan)

Kesimpulan dari Gambar 15. adalah rata-rata nilai faktor daya lampu mahal 0,61644 dan rata-rata nilai faktor daya lampu murah 0,62311. Kesimpulan dari Gambar 16. adalah *P-value* = 0,551 yaitu lebih besar dari nilai taraf signifikansi=0,05 maka H₀ tidak dapat ditolak sehingga tidak terdapat perbedaan yang signifikan antara faktor daya lampu mahal dengan faktor daya lampu murah.

Wilcoxon Signed Ranks Test

Ranks

| | N | Mean Rank | Sum of Ranks |
|---------------------------|----------------|----------------|--------------|
| Lampu Murah - Lampu Mahal | Negative Ranks | 9 ^a | 45.00 |
| | Positive Ranks | 0 ^b | .00 |
| | Ties | 0 ^c | |
| | Total | 9 | |

- a. Lampu Murah < Lampu Mahal
- b. Lampu Murah > Lampu Mahal
- c. Lampu Murah = Lampu Mahal

Test Statistics^a

| | |
|------------------------|---------------------|
| Z | -2.666 ^b |
| Asymp. Sig. (2-tailed) | .008 |

■ **Gambar 17.** Hasil pengujian hipotesis iluminasi lampu mahal dan nilai iluminasi lampu murah

Hipotesis Statistik Uji Peringkat Bertanda *Wilcoxon* untuk Iluminasi lampu mahal dan lampu murah

Pengujian hipotesis iluminasi menggunakan Uji Peringkat Bertanda *Wilcoxon* karena berdasarkan uji kenormalan data yang telah dilakukan, data tidak terdistribusi normal. Data yang diolah dalam pengujian ini adalah nilai iluminasi lampu mahal dan nilai THD_V lampu murah. Hasil pengujian hipotesis iluminasi dapat dilihat pada Gambar 17.

Kesimpulan dari Gambar 17. adalah $P\text{-value} = 0,008$ yaitu lebih kecil dari nilai taraf signifikansi $= 0,05$ maka H_0 ditolak sehingga terdapat perbedaan yang signifikan antara iluminasi lampu mahal dengan iluminasi lampu murah. Pengujian hipotesis ini menghasilkan 9 nilai iluminasi lampu murah yang lebih kecil dari nilai iluminasi lampu mahal, 0 nilai iluminasi lampu murah yang lebih besar dari nilai iluminasi lampu mahal, dan 0 nilai THD_V yang sama.

Hipotesis Statistik Uji Peringkat Bertanda *Wilcoxon* untuk THD_V

Pengujian hipotesis THD_V menggunakan Uji Peringkat Bertanda *Wilcoxon* karena berdasarkan uji kenormalan data yang telah dilakukan, data tidak terdistribusi normal. Data yang diolah dalam pengujian ini adalah nilai THD_V sebelum dipasang *Low Pass RC Filter* dan nilai THD_V setelah dipasang *Low Pass RC Filter*. Hasil pengujian hipotesis THD_V dapat dilihat pada Gambar 18.

Wilcoxon Signed Ranks Test

| | | Ranks | | |
|--|----------------|-----------------|-----------|--------------|
| | | N | Mean Rank | Sum of Ranks |
| Sesudah difilter - Sebelum difilter | Negative Ranks | 13 ^a | 15.65 | 203.50 |
| | Positive Ranks | 12 ^b | 10.13 | 121.50 |
| | Ties | 5 ^c | | |
| | Total | 30 | | |

a. Sesudah difilter < Sebelum difilter

b. Sesudah difilter > Sebelum difilter

c. Sesudah difilter = Sebelum difilter

Test Statistics^a

| | |
|------------------------|--|
| | Sesudah difilter - Sebelum difilter |
| Z | -1.112 ^b |
| Asymp. Sig. (2-tailed) | .266 |

■ Gambar 18. Hasil pengujian hipotesis THD_V

Kesimpulan dari Gambar 18. adalah $P\text{-value} = 0,266$ yaitu lebih besar dari nilai taraf signifikansi $= 0,05$ maka H_0 tidak dapat ditolak sehingga tidak terdapat perbedaan yang signifikan antara THD_V sebelum dipasang *Low Pass RC Filter* dengan THD_V setelah dipasang *Low Pass RC Filter*. Pengujian hipotesis ini menghasilkan 13 nilai THD_V yang lebih kecil dari nilai THD_V sebelum dipasang *Low Pass RC Filter*, 12 nilai THD_V yang lebih besar dari nilai THD_V dipasang *Low Pass RC Filter*, dan 5 nilai THD_V yang sama.

Hipotesis Statistik Uji Peringkat Bertanda *Wilcoxon* untuk Iluminasi

Pengujian hipotesis iluminasi menggunakan Uji Peringkat Bertanda *Wilcoxon* karena berdasarkan uji kenormalan data yang telah dilakukan, data tidak terdistribusi normal. Data yang diolah dalam pengujian ini adalah nilai iluminasi sebelum dipasang *Low Pass RC Filter* dan nilai iluminasi setelah dipasang *Low Pass RC Filter*. Hasil pengujian hipotesis iluminasi dapat dilihat pada Gambar 19.

Kesimpulan dari Gambar 19. adalah $P\text{-value} = 0,178$ yaitu lebih besar dari nilai taraf signifikansi $= 0,05$ maka H_0 tidak dapat ditolak sehingga tidak terdapat perbedaan yang signifikan antar iluminasi sebelum dipasang *Low Pass RC Filter* dengan iluminasi setelah dipasang *Low Pass RC Filter*. Pengujian hipotesis ini menghasilkan 21 nilai iluminasi yang lebih kecil dari nilai THD_V sebelum dipasang *Low Pass RC Filter*, 9 nilai iluminasi yang lebih besar dari nilai THD_V dipasang *Low Pass RC Filter*, dan 0 nilai iluminasi yang sama.

Wilcoxon Signed Ranks Test

| | | Ranks | | |
|--|----------------|-----------------|-----------|--------------|
| | | N | Mean Rank | Sum of Ranks |
| Sesudah difilter - Sebelum difilter | Negative Ranks | 21 ^a | 14.19 | 298.00 |
| | Positive Ranks | 9 ^b | 18.56 | 167.00 |
| | Ties | 0 ^c | | |
| | Total | 30 | | |

a. Sesudah difilter < Sebelum difilter

b. Sesudah difilter > Sebelum difilter

c. Sesudah difilter = Sebelum difilter

Test Statistics^a

| | |
|------------------------|--|
| | Sesudah difilter - Sebelum difilter |
| Z | -1.347 ^b |
| Asymp. Sig. (2-tailed) | .178 |

a. Wilcoxon Signed Ranks Test

b. Based on positive ranks.

■ Gambar 19. Hasil pengujian hipotesis Iluminasi

KESIMPULAN

Nilai THD mempengaruhi nilai faktor daya, yaitu jika nilai THD membesar maka nilai faktor daya akan mengecil. Kondisi ini kurang baik untuk pengguna lampu CFL, untuk itu perlu dirancang filter untuk menurunkan nilai THD serta menaikkan nilai faktor dayanya. Lampu CFL dengan harga yang mahal dan harga yang murah tidak memiliki pengaruh terhadap nilai THD_I, THD_V, dan faktor daya, namun memiliki pengaruh terhadap nilai iluminasi. *Low Pass RC Filter* menghasilkan nilai THD yang lebih kecil dibandingkan dengan *Low Pass LC Filter*, tetapi *Low Pass RC Filter* memiliki nilai daya aktif (P) yang lebih besar dibandingkan *Low Pass LC Filter*. *Low Pass RC Filter* menghasilkan nilai faktor daya ($\cos \phi$) yang lebih besar dibandingkan dengan *Low Pass LC Filter*. Nilai THD_V dan THD_I pada lampu CFL yang sudah dipasang *Low Pass RC Filter* lebih kecil dari nilai THD_V dan THD_I pada lampu CFL yang belum dipasang *Low Pass RC Filter*, namun nilai iluminasi dan faktor daya pada lampu CFL yang sudah dipasang *Low Pass RC Filter* juga lebih kecil dari nilai iluminasi dan faktor daya pada lampu CFL yang belum dipasang *Low Pass RC Filter*. Hal ini menunjukkan bahwa penggunaan *Low Pass RC Filter* belum memberikan hasil yang optimal. Perancangan *Low Pass Filter* ini belum memberikan hasil yang optimal terhadap lampu CFL, karena *Low Pass Filter* berhasil menurunkan nilai THD tetapi nilai faktor daya dan iluminasi juga menurun.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] M. Karlen and J.R. Benya, *Lighting Design Basics*. Hoboken. NJ: John Wiley & Sons, Inc, 2004.
- [2] I. Priyadi. Universitas Bengkulu. "Studi Penggunaan Rangkaian Filter untuk Mengurangi Efek Harmonisa pada Lampu Hemat Energi."
- [3] Associated Power Technologies, *Total Harmonic Distortion and Effects in Electrical Power Systems*. APT. 2011.
- [4] Velleman, *Compact Fluorescent Lamps*. Velleman.
- [5] H. Irawan, Hermawan, and T. Sukmadi. "Analisis Pengaruh Pemasangan Filter Pasif terhadap Penurunan Harmonik pada Sistem Multi Mesin 9 BUS IEEE."
- [6] B. Alzari. "Rancang Bangun Single Tuned Filter sebagai Alat Pereduksi Distorsi Harmonik untuk Karakteristik Beban Rumah Tangga 2200VA." Skripsi, Universitas Indonesia, Jakarta, 2011.
- [7] IEEE Std. 519-1992 – Recommended Practices and Requirements for Harmonic Control in Electrical Power Systems
- [8] United Nations Environment Programme (UNEP), *Peralatan Energi Listrik: Pencahayaan, Pedoman Efisiensi Energi untuk Industri di Asia*. UNEP.
- [9] H. Zenkner, A. Gerfer, and B. Rall. *Trilogie der Induktivitäten: Applikationshandbuch für EMV-Filter, Schaltregler und HF-Schaltungen Taschenbuch*. Würth Elektronik GmbH & Co KG, 2000.
- [10] H. Umar, *Metode Penelitian untuk Skripsi dan Tesis Bisnis*. Jakarta: Raja Grafindo Persada. 2004.
- [11] Indonesia. Standar Nasional Indonesia (SNI) nomor 57-2-1, *Peralatan dan Sistem Telekomunikasi*. Indonesia, 2001.