

## IMPLEMENTATION AND INSERTION LOSS ANALYSIS OF ELECTROMAGNETIC COMPATIBILITY (EMC) BASED FILTER FOR LIGHT EMITTING DIODE (LED)

Taufik Akbar<sup>1</sup>, M. Ramdhani<sup>2</sup>, Ekki Kurniawan<sup>3</sup><sup>1</sup>Prodi S1 Teknik Elektro, Fakultas Teknik Elektro, Universitas Telkom<sup>2</sup>Prodi S1 Teknik Elektro, Fakultas Teknik Elektro, Universitas Telkom<sup>3</sup>Prodi S1 Teknik Elektro, Fakultas Teknik Elektro, Universitas Telkom<sup>1</sup>heedahoo@yahoo.com, <sup>2</sup>mohamadramdhani@telkomuniveristy.ac.id, <sup>3</sup>ekkiakurniawan@telkomuniveristy.ac.id

## Abstrak

Pada penelitian ini dilakukan implementasi filter untuk mereduksi gangguan EMI pada beban lampu LED agar sesuai standar IEC 61000-3-2 class C serta analisis Insertion Loss. Filter yang digunakan adalah tipe pasif harmonisa yaitu: Filter Paralel, Filter Seri dan Low Pass Filter. Hasil pengukuran pada pada lampu LED menunjukan angka total harrmonisa yang cukup tinggi yaitu 131.4%. Harmonisa sudah berhasil di reduksi dan memenuhi standard IEC 61000-3-2 class C dengan digunakannya Low Pass Filter. Total harmonisa turun menjadi 24.6%, kualitas daya meningkat, tetapi daya nyata juga ikut meningkat. LPF menunjukan hasil Insertion Loss dengan nilai pada frekuensi normal (50 Hz) 25 dB dan harmonisa (150) 34.5 dB..

Kata kunci : *harmonisa, LED, EMI, EMC*

## Abstract

In this research, an attempt was made to implement filters to reduce EMI interference on LED load to comply with IEC 61000-3-2 class C and Insertion Loss analysis. The filter used is passive harmonics type: Parallel Filter, Series Filter and Low Pass Filter. The measurement results on the LED shown a high number of total harmonic distortion 131.4%. Harmonics has been successfully reduced and meets IEC 61000-3-2 class C standards with the use of Low Pass Filter. Total harmonics fell to 24.6%, power quality increased, but real power also increased. The LPF shows Insertion Loss with a value at normal frequency (50 Hz) 25 dB and harmonic (150) 34.5 dB.

Keywords: *harmonic, LED, EMI, EMC, filter*

## 1. Pendahuluan

Seiring waktu penggunaan lampu hemat energi semakin diminati. Lampu hemat energi yang digunakan bisa berupa adalah LED (Light Emitting Diode. Lampu tersebut selain tahan lama, juga memiliki tingkat efisiensi yang tinggi. Karena perbandingan daya yang dipakai dengan cahaya yang di dihasilkan (lumen/watt) sangat baik.

Namun Lampu LED merupakan komponen nonlinear dan dapat menimbulkan gangguan yang disebut EMI (Electromagnetic Interference). Gangguan elektromagnetik yang terjadi adalah distorsi secara harmonik yang biasa disebut harmonisa. Beban nonlinear memiliki gelombang arus yang tidak selaras dengan tegangannya hal itu dapat menyebabkan harmonisa. Distorsi harmonisa dapat menyebabkan menurunnya power factor, gangguan listrik ke perangkat elektronika lain secara konduktif, dan mengurangi umur perangkat. Masalah lain yang ada dilingkungan adalah banyaknya lampu yang dijual dipasaran memiliki harmonisa yang tidak sesuai standar.

Untuk mengatasi masalah ini perlu dilakukan penelitian untuk meningkatkan EMC (Electromagnetic Compatibility) sistem. Dalam penelitian ini dilakukan upaya untuk merancang filter untuk mereduksi gangguan EMI pada beban lampu LED agar sesuai dengan standar IEC 61000-3-2 class C. Filter yang akan digunakan berjenis filter pasif dengan beberapa topologi yaitu: filter harmonisa paralel, filter harmonisa seri dan Low Pass Filter.

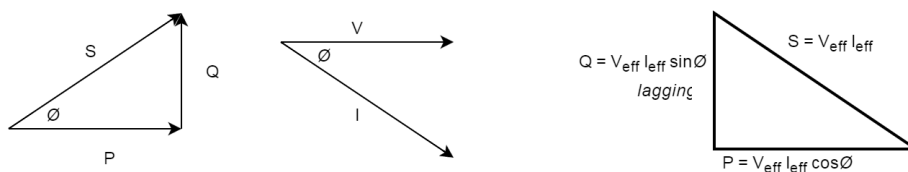
Filter akan diimplementasikan pada sistem penerangan lampu LED. Lalu dianalisa perubahan harmonisa orde ganjil (h3,h5,h7,h9), daya semu, daya nyata, daya reaktif ,faktor daya dan *Insertion Loss* sebelum dan sesudah filter dipasang..

## 2. Dasar Teori

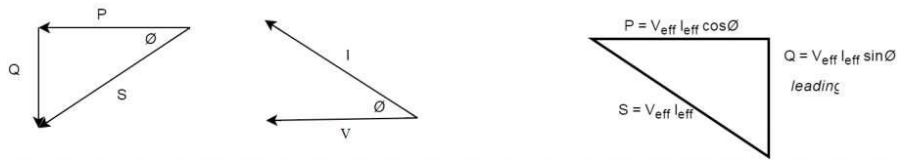
## 2.1. Segitiga Daya [1]

Hubungan antara daya rata-rata, daya reaktif, dan daya tampak dapat dinyatakan dengan merepresentasikan daya-daya tersebut sebagai vektor. Daya rata-rata atau daya nyata direpresentasikan sebagai vektor horizontal. Vektor daya tampak adalah hipotenusa (sisi miring) dari segitiga siku-siku yang terbentuk dengan menghubungkan vektor-vektor daya nyata dan reaktif. Representasi ini sering disebut sebagai segitiga daya.

Untuk komponen L:



Gambar 2.1 Segitiga daya pada saat arus lagging terhadap voltase I lagging terhadap V dimana nilai arus tertinggal sebesar fasa  $\theta$  dibandingkan dengan nilai tegangan.



Gambar 2.2 Segitiga daya pada saat arus leading terhadap voltase

*I leading* terhadap *V* dimana nilai arus tertinggal sebesar fasa  $\theta$  dibandingkan dengan nilai tegangan.

Rumus Umum:

$$P = V_{eff} \times I_{eff} \times \cos \theta \dots\dots\dots(2.1)$$

$$Q = V_{eff} \times I_{eff} \times \sin \theta \dots\dots\dots(2.2)$$

$$S = V_{eff} \times I_{eff} \dots\dots\dots(2.3)$$

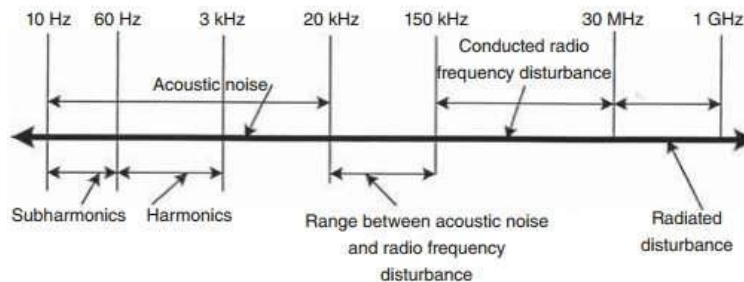
$$pf = \cos \varphi = \frac{P}{S} \dots\dots\dots(2.4)$$

- Keterangan:
- P = daya rata-rata (Watt)
  - Q = daya reaktif (VAR)
  - S = daya Tampak (VA)
  - Pf = faktor daya
  - I<sub>eff</sub> = arus efektif (Ampere)
  - V<sub>eff</sub> = tegangan efektif (Volt)

**2.2. EMI dan EMC**

EMI (Electromagnetic Interference) adalah emisi listrik atau magnet dari suatu perangkat atau sistem yang mengganggu kerja perangkat atau sistem lain. Efek EMI terhadap produk elektronika : Interferensi konduksi (Conducted Interference ) masuk dan keluar perangkat (devices) melalui kabel dan sistem perkabelan. Interferensi radiasi (Radiated Interference) masuk dan keluar perangkat (devices) melalui media udara ke sistem perkabelan yang ada dan langsung menembus perangkat.

EMC (Electromagnetic compatibility) merupakan kesesuaian atau kemampuan suatu sistem peralatan elektronik/elektrik untuk bekerja dengan normal di lingkungan elektromagnetik tanpa terpengaruh atau menyebabkan gangguan di lingkungannya [2]. EMC memastikan peralatan, perangkat atau sistem berfungsi secara baik dalam lingkungan medan elektromagnetik tanpa menunjukkan adanya gangguan-gangguan ataupun saling interferensi antar perangkat yang memancarkan elektromagnetik. Dengan kata lain EMC adalah kontrol dari EMI.



Gambar 2.3 Klasifikasi Gangguan Sinyal

**2.3. Harmonisa**

Harmonisa merupakan salah satu gangguan elektromagnetik (EMI). fenomena ini menghasilkan gelombang tegangan atau arus dengan frekuensi kelipatan integer sinyal 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 terdistorsi.

**2.4. Filter Harmonisa [7][12]**

Filter Harmonisa adalah filter yang digunakan untuk menghilangkan gelombang harmonisa yang tidak diinginkan. Filter harmonisa dapat dibuat dengan jenis filter pasif maupun aktif. Filter pasif merupakan filter yang terdiri dari komponen pasif seperti resistor, induktor, dan kapasitor. Beberapa contoh jenis filter pasif harmonisa yaitu, filter pasif seri, paralel, dan low pass. Frekuensi kerja dari filter pasif ini menggunakan persamaan frekuensi resonansi pada persamaan 2.15 serta perhitungan total impedansi filter dapat menggunakan persamaan 2.16.

$$fr = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$$

$$Z = R + j\left(\omega C - \frac{1}{\omega L}\right)$$

- Keterangan:
- Fr = frekuensi resonansi (Hz)
  - Z = impedansi (ohm)
  - R = hambatan (ohm)
  - L = induktor (henry)
  - C = kapasitor (farad)

**2.5. Insertion Loss (IL) [11]**

Parameter yang diperlukan untuk karakterisasi sebuah filter adalah Insertion Loss (IL). IL adalah rugi sisipan yang dapat menunjukkan ukuran keefektifan sebuah filter. Makin kecil nilai IL makin baik efisiensi sebuah filter. Aturan dan spesifikasi tentang pengukuran IL sudah ditetapkan oleh Standar Comité International Spécial des Perturbations Radioélectriques (CISPR)-22. Konstantin S. Kostov et al. (2008) menunjukkan

bahwa parameter jaringan dan komponennya dapat digunakan untuk menentukan IL filter daya secara lengkap dan handal. Baik dalam keadaan impedansi sumber/beban standar sebesar 50/50 Ω maupun dalam kasus terburuk “worst case” 0.1 Ω/100 Ω. Persamaan (2.23) menjelaskan bahwa IL merupakan perbandingan daya sebelum dan sesudah disisipkan filter. Daya tersebut berbanding lurus dengan kuadrat tegangan atau kuadrat arusnya. Satuan dari IL dinyatakan dengan decibel (dB).

$$IL = 10 \log \frac{P_1}{P_L} = 20 \log \frac{V_1}{V_L} = 20 \log \frac{I_1}{I_L}$$

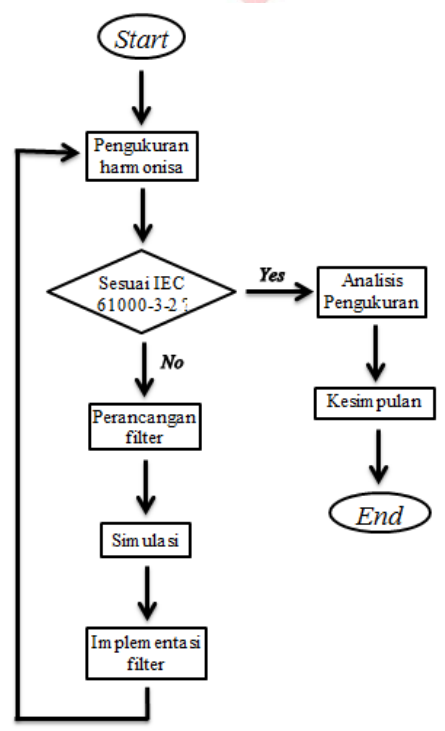
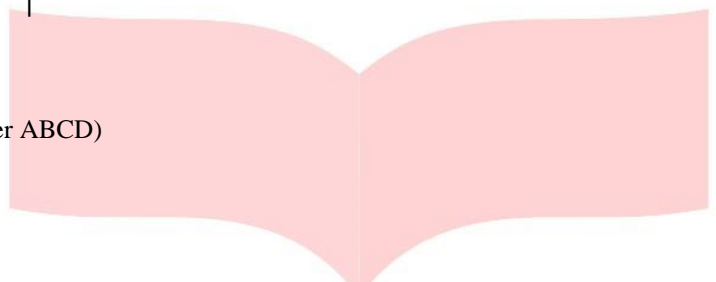
- P1 = Daya keluaran sebelum dipasang filter
  - PL = Daya keluaran setelah dipasang filter
  - V1 = Tegangan keluaran sebelum dipasang filter
  - VL = Tegangan keluaran setelah dipasang filter
  - I1 = Arus keluaran sebelum
  - IL = Arus keluaran setelah dipasang filter
- Nilai IL dapat juga ditulis dengan Persamaan

$$IL = 20 \log \left| \frac{A \cdot ZL + B + C \cdot Zg \cdot ZL + D \cdot Zg}{Zg + ZL} \right|$$

- Zg = Impedansi sumber (Ohm)
- ZL = Impedansi beban (Ohm)
- A,B,C,D = Parameter Transmisi (Parameter ABCD)

### 3. Metodologi Penelitian

#### 3.1 Flow Chart Penelitian



Gambar 3.1 Flowchart Penelitian

Proses perancangan filter diawali dengan pengukuran harmonisa pada sistem penerangan. Selanjutnya dilakukan perhitungan untuk menentukan besar induktor dan kapasitor filter. Dibuat simulasi dan analisis IL (insertion loss) filter untuk melihat perkiraan hasil yang akan didapatkan. Spesifikasi komponen yang didapatkan tersebut dicari dipasaran yang paling mendekati nilainya lalu dirangkai dan diimplementasikan pada sistem. Setelah itu dilakukan pengukuran kembali untuk memastikan apakah harmonisa sudah sesuai dengan standar IEC 61000-3-2. Jika memenuhi standar lakukan analisis perubahan parameter sebelum dan sesudah filter dipasang.

#### 3.2 Identifikasi Harmonisa

Pertama dilakukan pengukuran pada lampu LED untuk mengetahui tingkat harmonisanya. Pengukuran dilakukan pada lampu LED 14 W dengan menggunakan Harmonic and Power Analyzer.

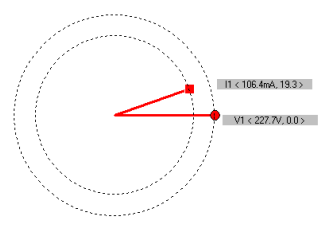
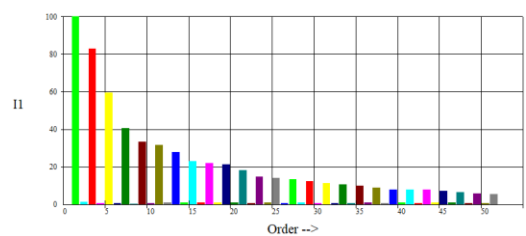
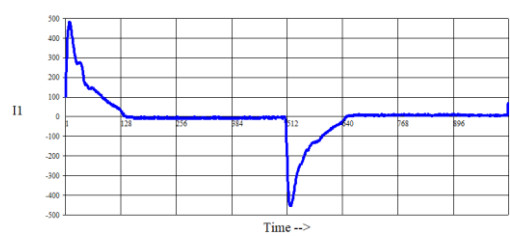


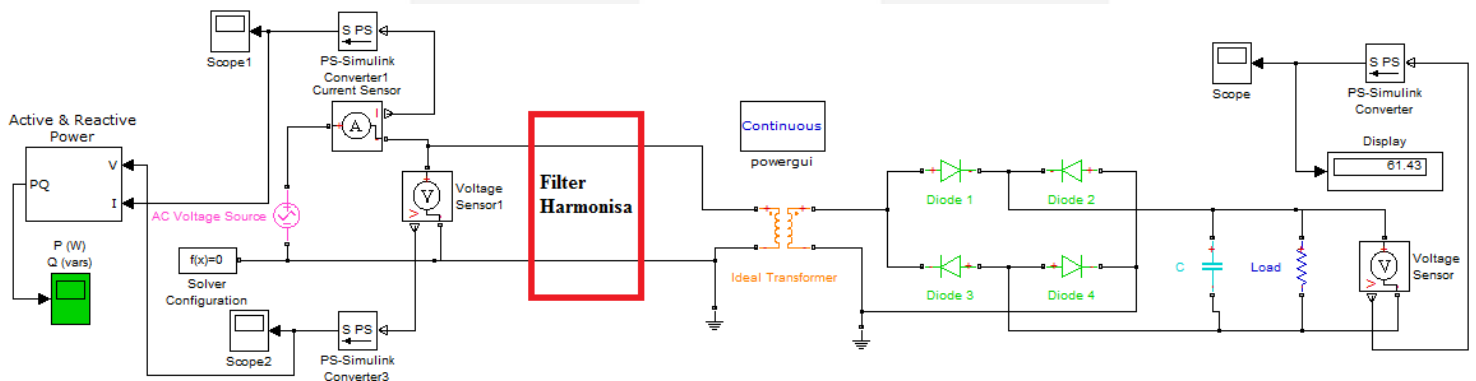
Table 3.1. Hasil pengukuran LED sebelum implementasi filter

Parameter	No Filter
Power Factor	0.56
P (Watt)	13.6
S (VA)	24.1
Q (VAR)	20
<b>THDi (%)</b>	<b>131.4</b>
h3(%)	81.7
h5(%)	57.4
h7(%)	37.9
h9(%)	31.4

Dari table 3.1 terlihat lampu LED melampaui batas harmonisa standar IEC 61000-3-2. Standard harmonisa ke 3 untuk lampu ini dengan power factor sebesar 0.56 adalah 16.8%. Power faktor yang kecil serta daya reaktif yang besar menunjukkan lampu memiliki kualitas daya yang kurang baik. Terlihat juga dari gambar 3.3 bentuk gelombang arus tidak sinusoid.

### 3.3. Simulasi Filter

Pertama dilakukan pengukuran keluran tegangan driver LED, dan didapatkan hasil 61-63V DC. Karena rangkaian driver yang sebenarnya sulit untuk di identifikasi, rangkaian simulasi dibuat agar memiliki fungsi dan keluaran yang mendekati aslinya. Oleh karena itu dibuat rangkaian Full-Wave Bridge Rectifier. Rangkaian disimulasikan menggunakan software Matlab dengan fitur Simulink.



Gambar 3.3 Rangkaian Simulasi Harmonisa

Rangkaian rectifier memiliki masukan tegangan 220V AC/50Hz dan dapat mengubah tegangan menjadi 62.08V DC. Tegangan masukan akan melewati trafo yang memiliki rasio penurunan sebesar 4.9, tegangan akan mejadi 4.5 Vrms. selanjutnya melewati rangkaian dioda bridge untuk membuat tegangan menjadi searah. Rangkaian diberi beban sebuah kapasitor sebesar 110 uF dan resistor sebesar 270 Ohm.

Table 3.2. Perbandingan hasil pengukuran sebenarnya dengan simulasi

Parameter	Real (No Filter)	Simulation (No Filter)
P (Watt)	13.6	12
Q (VAR)	20	20
<b>THDi (%)</b>	<b>131.4</b>	<b>129.42</b>
h3(%)	81.7	87.08
h5(%)	57.4	65.27
h7(%)	37.9	41.60
h9(%)	31.4	24.87

Dari tabel 3.2 simulasi menghasilkan daya nyata yang lebih kecil dari pengukuran sebenarnya dengan hasil 12 Watt. Daya reaktif sudah sama dengan pengukuran sebenarnya dengan hasil 20 VAR. Total harmonisa dengan nilai 129.42% sudah mendekati hasil pengukuran sebenarnya.

### 3.4. Pemilihan Komponen Filter

Dari tabel 3.2 harmonisa sudah mulai terlihat pada orde ke 3. Artinya harmonisa yang akan diredam ada pada frekuensi 150 Hz. Untuk menentukan besar komponen filter digunakan persamaan Frekuensi Resonansi. Karena diasumsikan komponen induktor dapat dibuat secara manual, maka nilai induktor mengikuti nilai kapasitor. Besar kapasitor yang ada di pasaran dimulai dari kelipatan 0.1 uF. Filter yang akan dipakai pada penelitian ini adalah Filter Seri, Filter Paralel dan LPF. Berikut ini hasil simulasi filter harmonisa dengan besar komponen kapasitor yang mungkin dan pasangan induktornya.

$$f_r = 1 / (2\pi\sqrt{LC})$$

Tabel 3.3. Hasil Simulasi Filter Harmonisa

Komponen	THDi LPF	THDi Filter Paralel	THDi Filter Seri
0.1 uF & 11.2579 H	ERROR	128.00%	ERROR
0.2 uF & 5.629 H	33.12%	128.17%	28.63%
0.3 uF & 3.7526 H	75.43%	128.54%	85.60%
0.4 uF & 2.8145 H	48.30%	128.18%	59.05%
0.5 uF & 2.2516 H	60.02%	125.71%	63.42%
0.6 uF & 1.8763 H	72.13%	124.67%	83.74%
0.7 uF & 1.6083 H	66.22%	124.00%	ERROR
0.8 uF & 1.4072 H	61.93%	122.18%	86.32%
0.9 uF & 1.2509 H	58.07%	121.25%	81.19%
1 uF & 1.1258 H	55.27%	120.16%	76.56%

Hasil simulasi Filter Paralel menunjukkan penurunan harmonisa yang berbanding terbalik dengan kenaikan kapasitor sampai saat kapasitor bernilai 1 uF. Sedangkan Filter Seri dan LPF menunjukkan reduksi harmonisa yang tidak beraturan. Reduksi harmonisa terbaik dari ketiga filter di hasilkan oleh Filter Seri yaitu pada besar komponen 0.2 uF & 5.629 H. Reduksi harmonisa pada LPF menunjukan hasil terbaiknya pada besar komponen yang sama dengan Filter Seri, sedangkan Filter Paralel menunjukan hasil terbaik pada besar komponen 1 uF & 1.1258 H. Hasil reduksi harmonisa dari keseluruhan simulasi masih belum baik karena belum ada yang memenuhi Standar IEC 61000-3-2 kelas C dan juga terdapat error pada beberapa besar komponen.

### 4. HASIL dan ANALISIS

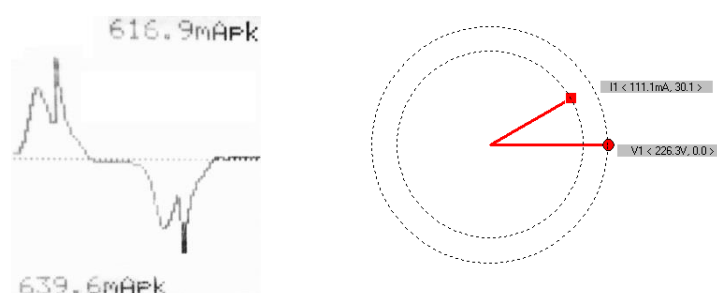
Pada bab ini membahas tentang hasil pengujian filter harmonisa yang di aplikasikan pada lampu LED 14 Watt yang telah di ukur pada bab 3. Besar komponen induktor dan kapasitor yang digunakan mengikuti hasil reduksi terbaik yang dilakukan pada simulasi. Besar kapasitor dan induktor untuk Filter Seri dan LPF adalah 0.2 uF dan 5.629 H, sedangkan untuk Filter Paralel digunakan 1 uF & 1.1258 H. Transformator bagian kumparan primer digunakan sebagai induktor dan untuk kapasitor menggunakan kapasitor AC. Jenis filter yang diuji masih sama seperti simulasi yaitu tipe Paralel, Seri, Low Pass Filter.

#### 4.1. Pengujian Filter Paralel

Filter paralel menunjukkan hasil reduksi harmonisa yang kurang baik, dengan besar total harmonisa 60.6%. Meskipun terdapat kenaikan faktor daya, tetapi peningkatannya tidak signifikan dengan nilai 0.66. Daya reaktif mengalami peningkatan yang besar menjadi 35.4 VAR. Keadaan di perburuk dengan adanya peningkatan daya nyata yang sangat besar menjadi 31.2 Watt dari sebelum dipasangnya filter.

Table 4.1 Perbandingan pengukuran LED sebelum dan setelah implementasi Filter Paralel

Parameter	No Filter	Filter paralel
Power Factor	0.56	0.66
P (Watt)	13.6	31.2
S (VA)	24.1	47.1
Q (VAR)	20	35.4
THDi (%)	131.4	60.6
h3(%)	81.7	48.9
h5(%)	57.4	5.9
h7(%)	37.9	9.9
h9(%)	31.4	13.2



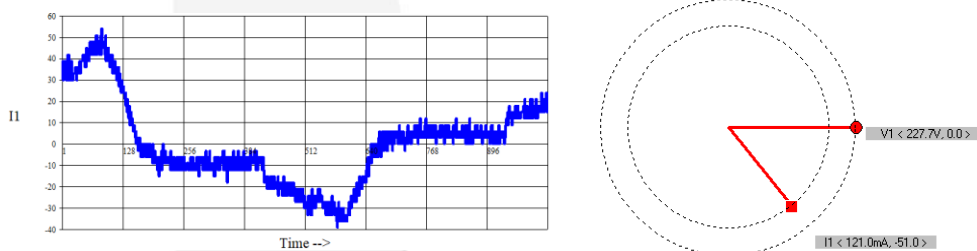
Gambar 4.1. Bentuk gelombang arus, Diagram Fasor LED filter paralel

#### 4.2. Pengujian Filter Seri

Pengukuran pada filter seri sulit untuk dilakukan karena kerja lampu tidak stabil dan menyebabkan angka pengukuran berubah-ubah secara drastis. Hal ini disebabkan karena filter seri bekerja berdasarkan impedansi yang tinggi [7]. Terlihat dari table 4.2 filter seri dapat mereduksi harmonisa, namun dengan total harmonisa 69.4% belum memenuhi standar IEC 61000-3-2. Terdapat penurunan faktor daya dan peningkatan daya nyata yang tinggi dengan nilai 19.2 Watt. Daya reaktif juga mengalami peningkatan yang sangat besar dengan nilai 33.1 VAR.

Table 4.2 Perbandingan pengukuran LED sebelum dan setelah implementasi Filter Seri

Parameter	No Filter	Filter Seri
Power Factor	0.56	0.5
P (Watt)	13.6	19.2
S (VA)	24.1	38.2
Q (VAR)	20	33.1
THDi (%)	131.4	69.4
h3(%)	81.7	61.5
h5(%)	57.4	29.2
h7(%)	37.9	11.9
h9(%)	31.4	4.9



Gambar 4.2. Bentuk gelombang arus, Diagram Fasor LED filter seri

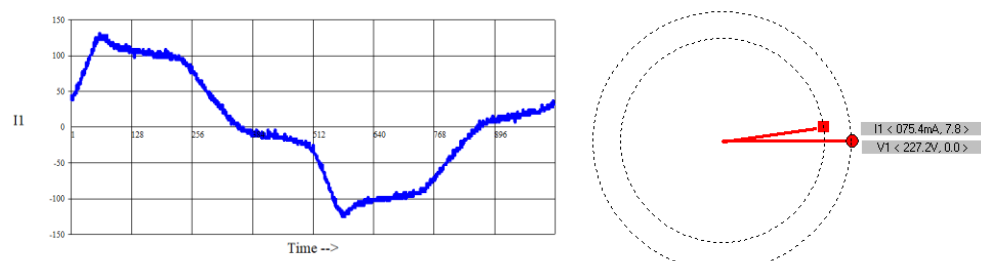
Fasa berubah yang semula leading menjadi lagging dengan sudut fasa yang lebih besar dari sebelumnya dengan nilai 51°. Dari gambar 4.2 pada gelombang arus terdapat ripple dan bentuk keseluruhan gelombang masih jauh dari sinusoid. Sistem setelah implementasi Filter Seri menghasilkan arus sebesar 21.1 mA rms dengan arus puncak sebesar 54.1 mA.

#### 4.3. Pengujian Low Pass Filter

LPF menunjukkan hasil reduksi harmonisa yang sangat baik dengan besar total harmonisa 24.6%. Faktor daya meningkat hingga mendekati 1 dan daya reaktif menurun secara drastis dengan nilai 4.5 VAR, artinya terdapat peningkatan kualitas daya yang cukup signifikan dari sebelum dipasangnya filter. Namun terdapat kenaikan pada daya nyata menjadi 16.6 Watt yang akan berakibat kenaikan biaya operasional.

Table 4.3 Perbandingan pengukuran LED sebelum dan setelah implementasi Low Pass Filter

Parameter	No Filter	LPF
Power Factor	0.56	0.97
P (Watt)	13.6	16.6
S (VA)	24.1	17.1
Q (VAR)	20	4.5
THDi (%)	131.4	24.6
h3(%)	81.7	19
h5(%)	57.4	13.5
h7(%)	37.9	6.5
h9(%)	31.4	3.8

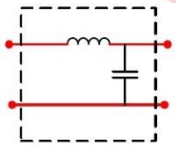
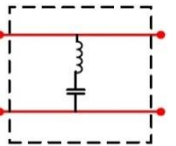
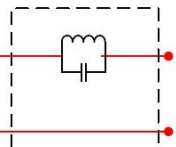


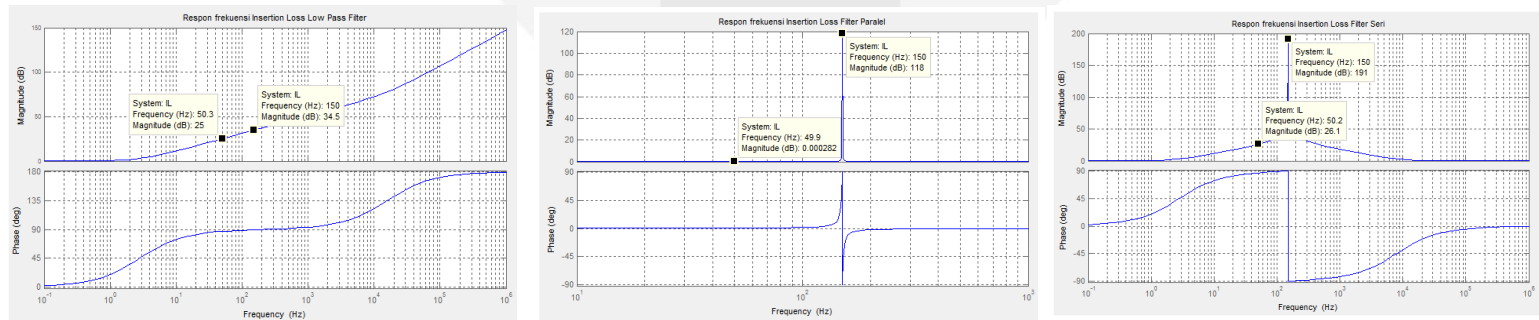
Bentuk gelombang arus sudah mulai menyerupai sinusoid walaupun belum sempurna. Sistem setelah implementasi LPF menghasilkan arus sebesar 75.3 mA rms dengan arus puncak sebesar 131.7 mA. Dari gambar 4.3. sudut fasa masih tetap leading terhadap tegangan, tetapi dengan nilai yang jauh lebih kecil sebesar 7.8°.

**4.4. Analisis Insertion Loss (IL)**

Analisis Insertion Loss dilakukan untuk melihat keefektifan reduksi EMI sebuah filter. Untuk melakukan perhitungan IL pertama harus menentukan parameter transmisi masing-masing filter. Parameter transmisi filter dapat dicari menggunakan persamaan (2.17) & (2.18). Setelah parameter transmisi didapatkan gunakan persamaan IL lalu dibuat bode plot dari persamaan tersebut untuk melihat respon frekuensinya. Perhitungan dilakukan pada kondisi impedansi sumber/beban standar sebesar 50/50 Ω. Besar IL yang di ukur adalah pada respon magnitude frekuensi normal (50 Hz) dan frekuensi harmonisa (150 Hz). Nilai komponen induktor dan kapasitor yang digunakan sama dengan aplikasi filter. Perhitungan dilakukan menggunakan software Matlab.

Table 4.4 Parameter Transmisi Filter

Jenis Filter	Parameter Transmisi
<p><i>Low Pass Filter</i></p> 	$\begin{bmatrix} s^2LC + 1 & sL \\ sC & 1 \end{bmatrix}$
<p>Filter Paralel</p> 	$\begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 1 & 1 \\ s^2LC + 1 & 1 \end{bmatrix}$
<p>Filter Seri</p> 	$\begin{bmatrix} 1 & s^2LC + 1 \\ 0 & 1 \end{bmatrix}$



Gambar 4.4 Respon frekuensi IL LPF, Filter Paralel, Filter Seri

Dari gambar 4.4 respon magnitude LPF menghasilkan besar IL yang kecil pada frekuensi rendah dan semakin meningkat pada frekuensi tinggi. Artinya filter melaksanakan fungsinya sebagai Low Pass Filter dengan baik. Pada frekuensi fundamental (50 Hz) terlihat filter sudah mulai mereduksi sinyal arus dengan dengan nilai IL sebesar 25 dB dan pada frekuensi resonansi (150 Hz) IL meningkat menjadi 34.5 dB. Respon frekuensi Filter paralel hampir sama dengan Filter Paralel karena keduanya adalah Band Stop Filter. Pada gambar 4.11 Filter Paralel menunjukkan IL yang hampir konstan dan sangat kecil di semua frekuensi dengan nilai IL 0.000282 dB pada frekuensi fundamental. Selanjutnya nilai IL Filter Paralel meningkat sangat tajam hanya pada frekuensi resonansi sebesar 118 dB. Filter Seri sudah menunjukkan adanya reduksi pada frekuensi fundamental dengan nilai IL 26.1 dB. Lalu mengalami peningkatan IL yang lebih tinggi dari Filter Paralel hanya pada frekuensi resonansi sebesar 191 dB. Filter Seri dan Filter Paralel kurang baik apabila digunakan untuk mereduksi harmonisa karena hanya mereduksi pada satu frekuensi, sedangkan harmonisa terdapat pada setiap orde ganjil dari kelipatan frekuensi fundamental (150 Hz, 250 Hz, 350 Hz, 450 Hz, dst). Oleh Karena itu dari ketiga filter yang diuji pada penelitian ini Low Pass Filter menjadi filter yang paling baik untuk mereduksi harmonisa.

**5. Kesimpulan dan Saran**

**5.1 Kesimpulan**

Dari penelitian yang dilakukan pada ke tiga jenis filter ini dapat di tarik beberapa kesimpulan, diantaranya:

1. Dengan menggunakan Low Pass Filter standar IEC 61000-3-2 kelas C sudah hampir terpenuhi dengan hasil reduksi harmonisa h3=19%, h5=13.5%, h7=6.5%, h9=3.8%, h11=2.6%, h13=1.2%, h15=0.2%.

2. Besar komponen induktor dan kapasitor yang digunakan pada LPF sebesar 0.2 uF & 5.629 H.
3. Saat LPF dipasang pada sistem bukan hanya harmonisa yang berubah, faktor daya meningkat menjadi 0.97, daya semu menurun menjadi 17.1 VA, daya reaktif menurun menjadi 4.5 VAR, namun daya nyata meningkat menjadi 16.6 Watt.
4. LPF menghasilkan besar IL yang kecil pada frekuensi rendah dan semakin meningkat pada frekuensi tinggi. dengan nilai IL 25 dB pada frekuensi fundamental (50 Hz) dan meningkat menjadi 34.5 dB pada frekuensi resonansi (150)

## 5.2 Saran

Beberapa saran dan masukan untuk pengembangan penelitian ini sebagai berikut:

1. Diupayakan untuk memperkecil kenaikan daya nyata setelah pemasangan filter.
2. Perancangan simulasi dengan beban yang menyerupai beban sebenarnya agar mendapatkan hasil yang lebih akurat.
3. Perhatikan besar daya yang dibutuhkan beban dan keluaran filter agar beban tidak kelebihan muatan.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] M. Ramdhani, "Rangkaian Listrik," dalam Rangkaian Listrik, Jakarta, Erlangga, 2008, pp. 269-334.
- [2] Kodali., Prasad., 1996. Engineering Electromagnetic Compatibility, IEEE, New York.
- [3] J. Das, "Power System Harmonics and Passive Filter Design," dalam Power System Harmonics and Passive Filter Design, New Jersey, John Wiley & Sons, 2015, pp. 331-377.
- [4] Hadeed Ahmed Sher, Khaled E. Addoweesh and Yasin Khan, "Harmonics Generation, Propagation and Purging Techniques in Non-Linear Loads," dalam An Update on Power Quality, Dr. Dylan Lu (Ed.), InTech, DOI: 10.5772/53422, ISBN 978-953-51-1079-8.
- [5] C. Jettanasen dan C. Pothisarn, "Analytical Study of Harmonics Issued from LEDLamp Driver," dalam International MultiConference of Engineers and Computer Scientists (IMECS) 2014, Hongkong, 2014.
- [6] Ekki Kurniawan, Basuki Rahmat, Porman Pangaribuan, Deny Hamdani, Ig. P Wibawa, "Analisis Insertion Loss pada filter daya berbasis Electromagnetic Compatibility (EMC)" dalam Prosiding Seminar Nasional Aplikasi Sains & Teknologi (SNAST) 2014, ISSN: 1979-911X, Yogyakarta, 15 November 2014.
- [7] M. Rashid, "Power Electronic HandBook," dalam Power Electronic HandBook, California, Academic Press, 2001, pp. 487 - 531.
- [8] Konstantin S. Kostov and Jorma J. Kyyrä., 2008. "Insertion Loss and Network Parameters in the Analysis of Power Filters", dalam Nordic Workshop on Power and Industrial Electronics (NORPIE 2008). Espoo, Finland.