

Perancangan Low Pass RC Filter untuk Mereduksi Harmonik pada Lampu Hemat Energi (LHE) 20W

Eko Widiarto, Akhmad Jamaah

Jurusan Teknik Elektro Politeknik Negeri Semarang
E-mail : akhmadjamaah@yahoo.com

Abstrak

Dengan kemajuan teknologi informasi penggunaan peralatan elektronik di rumah tinggal semakin banyak digunakan, di sisi lain krisis energi menjadi pemicu meningkatnya efisiensi Penggunaan Energi listrik seperti pemakaian Lampu Hemat Energi (LHE). Akibat yang ditimbulkan karena beban non linier seperti pemakaian LHE adalah munculnya harmonisa pada jaringan listrik. Harmonik pada jaringan listrik akan menimbulkan distorsi gelombang sinusoidal secara periodik, hal ini menyebabkan gelombang menjadi cacat, dan menurunkan kualitas dayanya. Kejadian ini tentu tidak dikehendaki pada sistem tenaga listrik. Pada penelitian ini akan dirancang bagaimana cara menurunkan THD (*Total Harmonic Distorsi*) yang disebabkan karena beban non linier seperti LHE, yaitu dengan membuat *Low Pass RC filter*. Adapun Jalanya penelitian ini diawali dengan pengukuran kondisi *exsisting*, Pengukuran tingkat THD dan kinerja dari LHE dilakukan dengan menggunakan power meter dan osiloscope digital (Textronik). Setelah dilakukan penelitian, dengan memasang *low pass RC filter* pada rangkaian LHE 20 W, prosentase THD sebelum dipasang filter rata-rata sebesar 130%, setelah dipasang *low pass RC filter* prosentase THD turun menjadi rata-rata 9%, sehingga ada reduksi harmonik yang signifikan.

Kata kunci : perancangan, *Low pass RC Filter*, harmonik

Abstract

With the advancement of information technology use in the residential electronic equipment increasingly used, on the other hand the energy crisis be the trigger for increased efficiency of electric energy use such as use of Energy Saving Lamps (LHE). Consequences for non-linear loads such as the use of LHE is the appearance of harmonics in the electrical network. Harmonics on the power grid will cause periodic sinusoidal waveform distortion, it causes waves to be defective, and lowers its quality. The incident is not desirable in electric power systems. This research will be designed how to minimized THD (Total Harmonic Distortion) caused by non-linear loads such as LHE, is to create a Low Pass RC filter. As for steps this research begins with measurement exsisting condition, and performance measurement of THD level of LHE done using a power meter and digital osiloscope (Textronic). After doing research, by installing a low pass RC filter in series LHE 20 W, THD percentage before reinstalling the filter an average of 130%, after a low pass RC filter mounted THD percentage dropped to 9%, so there is a significant harmonic reduction.

Keywords: *research, low pass RC filter, harmonic*

I. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Kemajuan teknologi akhir-akhir ini telah memberikan banyak pengaruh terhadap beberapa bidang, salah satunya adalah dalam bidang ketenagalistrikan. Pada suatu sistem tenaga listrik, bentuk gelombang tegangan dan arus yang umum digunakan adalah sinusoidal. Alat-alat listrik umumnya dirancang bekerja pada tegangan dan arus dalam bentuk gelombang sinusoidal. Seiring dengan bertambahnya beban-beban yang menghasilkan harmonik pada sistem tenaga listrik, bentuk gelombang arus dan tegangan yang sinusoidal ini semakin sulit untuk diwujudkan.

Beban-beban penghasil harmonik ini menghasilkan arus dan tegangan dengan bentuk gelombang yang terdistorsi. Distorsi gelombang listrik ini dikenal dengan istilah distorsi harmonik. Distorsi harmonik terutama harmonik arus yang terlalu besar akan mempengaruhi kualitas dari daya listrik, yang dapat mempengaruhi kinerja dari semua peralatan listrik seperti transformator, motor listrik dan peralatan elektronik lainnya. Kandungan harmonic yang besar dapat membuat peralatan menjadi lebih panas dan cepat rusak. Hal seperti ini tentunya akan menjadi permasalahan yang harus diatasi dengan menghilangkan atau menurunkan tingkat harmoniknya.

1.2 Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian ini adalah untuk:

- Mengetahui berapa besar *THD* yang ditimbulkan karena penggunaan LHE 20 W.
- Membuat *Low Pass RC Filter* yang dapat menurunkan tingkat *THD* yang ditimbulkan karena penggunaan LHE 20W.

1.3 Manfaat Penelitian

Penelitian ini diharapkan akan menghasilkan :

- Rancangan sebuah *Low Pass RC Filter* yang dapat digunakan untuk menurunkan tingkat *THD* yang ditimbulkan karena penggunaan LHE 20 W.
- Hasil rancangan dapat digunakan sebagai bahan studi untuk dikembangkan lebih lanjut, misal untuk membuat *Low Pass RC Filter* untuk LHE dengan daya yang lebih besar atau lebih kecil dari 20W.

1.4 Luaran yang Dihasilkan

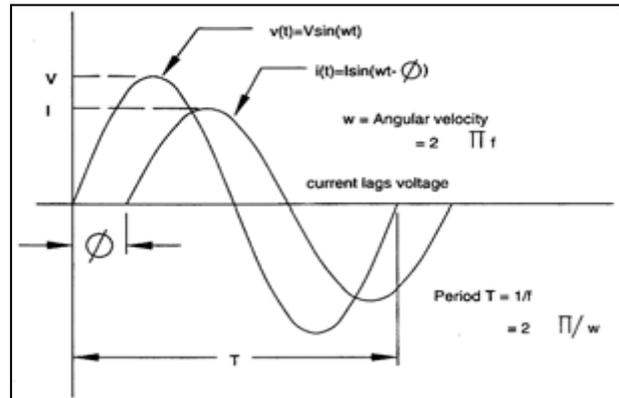
Sebuah Rangkaian berupa *Low Pass RC Filter* yang dapat mengurangi efek timbulnya harmonisa pada jaringan tegangan rendah akibat pemakaian LHE 20 W.

1.5 Studi Pustaka

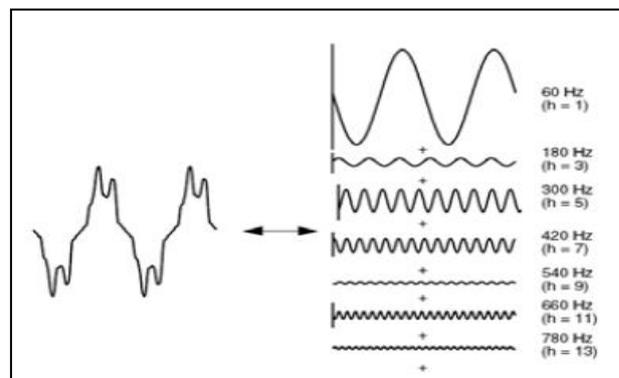
1.5.1 Studi Harmonik

Dalam sistem tenaga listrik yang ideal, bentuk gelombang tegangan yang disalurkan ke peralatan konsumen dan bentuk gelombang arus yang dihasilkan adalah gelombang sinus murni. Harmonisa adalah gangguan yang terjadi dalam sistem distribusi tenaga listrik yang disebabkan adanya distorsi gelombang arus dan tegangan. Distorsi gelombang arus dan tegangan ini disebabkan adanya pembentukan gelombang-gelombang dengan frekuensi kelipatan bulat dari frekuensi fundamentalnya.

Harmonisa bisa muncul akibat adanya beban-beban non linier yang terhubung ke sistem distribusi. Beban non linier ini umumnya adalah peralatan elektronik yang di dalamnya banyak terdapat komponen semi konduktor, yang dalam proses kerjanya berlaku sebagai saklar yang bekerja pada setiap siklus gelombang dari sumber tegangan. Beberapa contoh beban non linier antara lain : variable speed drive, komputer, printer, lampu *fluorescent* yang menggunakan ballast elektronik.

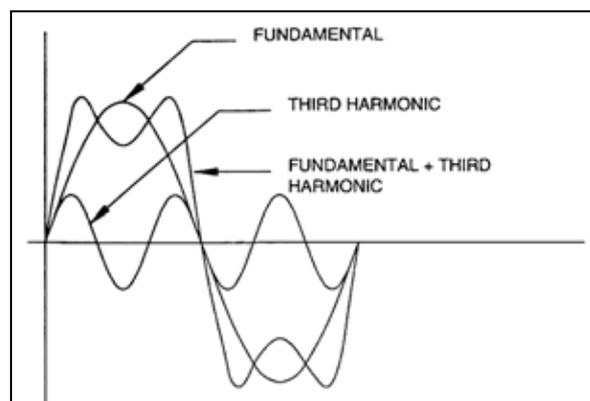


Gambar 1 Gelombang Arus dan Tegangan Sinus Murni [1]



Gambar 2 Gelombang Sinus Terdistorsi Harmonik Direpresentasikan dengan Deret Fourier [2]

Gelombang non-sinusoidal terbentuk dengan menjumlahkan gelombang-gelombang sinusoidal, seperti terlihat pada Gambar 3. Pada Gambar 3 diperlihatkan sebuah gelombang non-sinusoidal yang merupakan hasil penjumlahan gelombang fundamental dengan harmonik orde ke-3 (tiga).



Gambar 3 Gelombang fundamental, harmonik ke-3 dan hasil penjumlahannya [1]

1.5.2 Indeks Harmonik

Dalam analisa harmonik, beberapa indeks penting berikut digunakan untuk melukiskan pengaruh harmonik pada komponen sistem tenaga listrik [3].

Total Harmonic Distortion (THD)

$$THD \text{ tegangan: } THD_v = \frac{\sqrt{\sum_{h=2}^n V_k^2}}{V_1} \times 100\% \dots (1)$$

$$THD \text{ arus: } THD_I = \frac{\sqrt{\sum_{h=2}^n I_k^2}}{I_1} \times 100\% \dots (2)$$

Yang didefinisikan perbandingan nilai rms komponen harmonik dasar (%). Indek ini digunakan untuk mengukur penyimpangan (*deviation*) dari bentuk gelombang satu periode yang mengandung harmonik pada satu gelombang sinus sempurna. Untuk satu gelombang sinus sempurna pada frekuensi dasar. THD adalah nol. Demikian pula pengukuran distorsi harmonik individual untuk harmonik tegangan dan arus pada orde h didefinisikan sebagai $\frac{V_h}{V_i}$ dan $\frac{I_h}{I_i}$

Pada Tabel 1 dan Tabel 2 [4] ditampilkan standart IEEE std 519 -1992 untuk batasan THD_v dan THD_I yang digunakan sebagai acuan dalam penelitian ini.

TABEL 1

CURRENT DISTORTION LIMITS FOR GENERAL DISTRIBUTION SYSTEMS (120 V THROUGH 69. 000V)

Maximum Harmonic Current Distortion in Percent of I_1						
Individual Harmonic Order (Odd Harmonics)						
I_{co}/I_1	< 11	11 ≤ h < 17	17 ≤ h < 23	23 ≤ h < 25	35 ≤ h	TDD
< 20	4.0	2.0	1.5	0.6	0.3	5.0
20 < 50	7.0	3.5	2.5	1.0	0.5	8.0
50 < 100	10.0	4.5	4.0	1.5	0.7	12.0
100 < 1000	12.0	5.5	5.0	2.0	1.0	15.0
> 1000	15.0	7.0	6.0	2.5	1.4	20.0

TABEL 2

VOLTAGE DISTORTION LIMITS

Bus Voltage at PCC	Individual Voltage Distortion (%)	Total Voltage Distortion (%)
≤ 69 kV	3.0	5.0
69 kV hingga 161 kV	1.5	2.5
≥ 161 kV	1.0	1.5

1.5.3 Low Pass RC Filter

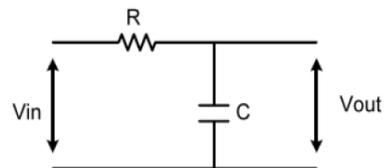
Low Pass RC filter yang digunakan dalam penelitian ini adalah terdiri dari gabungan komponen resistor dan kapasitor. Filter ini dapat melewati frekuensi dibawah frekuensi *cut-off*, Gambar 4, diperlihatkan tipe filter pasif jenis *low-pass* yang digunakan dalam penelitian ini. V_{in} adalah tegangan input yang masuk ke rangkaian; dan V_{out} adalah tegangan yang keluar dari rangkaian, adapun nilai V_{out} dapat dicari dengan persamaan [5]:

$$V_{in}(t) - V_{out}(t) = R_i(t)$$

$$i(t) = \frac{dQ_c}{dt}$$

$$Q_c(t) = CV_{out}(t)$$

$$V_{in}(t) - V_{out}(t) = RC \frac{dV_{out}}{dt}$$



Gambar 4 Rangkaian Filter Pasif Jenis Low Pass RC Filter

Sebuah rangkaian pembagi tegangan dimana fungsi alih tegangan dinyatakan dalam persamaan [5]:

$$Hv = \frac{Z_c}{Z_r + Z_c} \text{ , atau } Hv(\omega) = \frac{1}{1 + j \frac{\omega}{\omega_x}}$$

dengan: $\omega_x = \frac{1}{R.C}$

II. METODE PENELITIAN

Penelitian diawali dengan mempersiapkan peralatan alat ukur dan bahan dilanjutkan dengan pengujian kelistrikan dan total harmonik distorsi pada lima merek sampel Lampu Hemat Energi (LHE) daya 20W. Untuk langkah selengkapnya diperlihatkan pada flowchart penelitian Gambar 5.

2.1 Bahan Penelitian

Bahan yang digunakan dalam penelitian antara lain :

1. Resistor 100 Ω , 20 W
2. Kapasitor 3,5 μ F, 500 VAC.
3. Lampu LHE 20W, yang ada di pasaran:
 - a. Lampu Hitachi 20 W
 - b. Lampu LIECHTEN 20W
 - c. Lampu Wanda 20 W
 - d. Lampu BESS 20W
 - e. Lampu OMI 20W

2.2 Alat Ukur yang Digunakan

Untuk mengukur variabel kelistrikan; Tegangan, Arus, Daya nyata, Daya Aktif, Daya Reaktif, Faktor daya, Frekuensi dan harmonik digunakan:

1. *Power Meter Schneider, Seri Power Logic 800.*

Alat ini dipergunakan untuk mengukur spektrum harmonisa dari Lampu Hemat Energi digunakan

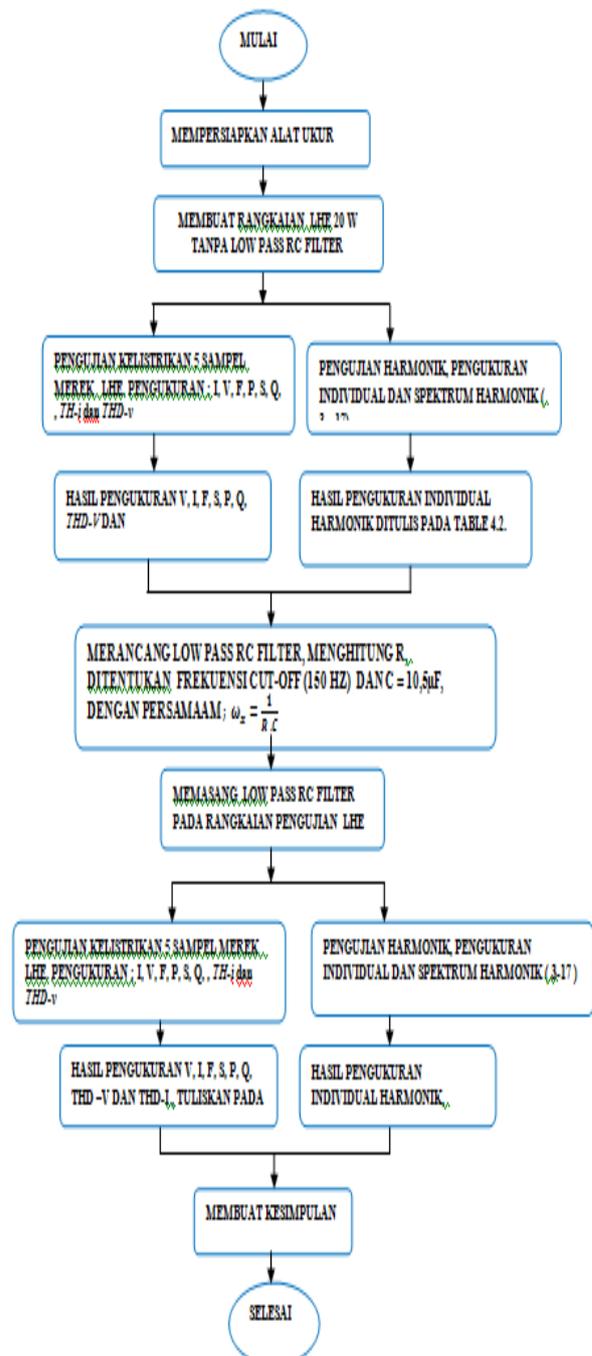
2. *Oscilloscope TEKTRONIX TPS 2024 (Digital Storage)*

Alat ini dipergunakan untuk melihat tampilan visual harmonik.

2.3 Jalan Penelitian

Dalam penelitian ini dilaksanakan dalam dua tahapan yaitu:

- a. Pengukuran variabel kelistrikan dan spektrum harmonisa dari sampel lampu LHE sebelum dipasang *Low Pass RC Filter*.
- b. Perancangan *Low Pass RC Filter* untuk mereduksi harmonik yang diakibatkan karena pemasangan LHE.
- c. Pengukuran variabel kelistrikan dari sampel lampu LHE, setelah dipasang *Low Pass RC Filter*.



Gambar 5 Flowchart Penelitian

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Hasil Pengukuran Lampu Hemat Energi Sebelum Dipasang Low Pass RC Filter

Hasil pengukuran variable kelistrikan dari sampel merek Lampu Hemat Energi 20W seperti Arus (I), Tegangan (V), Daya nyata (S), Daya aktif (P), Daya Reaktif (Q), Harmonik Arus (THD_i) dan Harmonik tegangan (THD_v) diperlihatkan pada Tabel 3 sedang untuk hasil pengukuran individual harmonik orde 3, 5, 7, 9, 11, 13, 15 dan 17 diperlihatkan pada Tabel 4.

TABEL 3
HASIL PENGUKURAN LHE 20W, SEBELUM DIPASANG
LOW PASS RC FILTER

NO	Merek	Tegangan V (Volt)	Arus I (Amp)	Daya Aktif P (Watt)	Daya Nyata S (VA)	Daya Reaktif Q (VAR)	Cosφ	THD-I (%)	THD-V (%)
1	Hitachi	220	0.13	16.87	28.6	23.09	0.59	117	2.2
2	Liechten	220	0.14	18.08	30.8	24.94	0.587	112	2.2
3	Wanda	220	0.1	12.12	22	18.36	0.551	142	2.2
4	Bess	220	0.17	21.51	37.4	30.60	0.575	130	2
5	Omi	220	0.06	8.47	13.2	10.12	0.642	90	2

TABEL 4
PENGUKURAN INDIVIDUAL HARMONIK
LHE 20 W

No	Merek	HARMONIK ARUS (%)								THD (%)
		3	5	7	9	11	13	15	17	
1	Hitachi	70	52	45	34	25	23	22	20	117
2	LIECHTEN	80	50	43	32	30	25	20	20	112
3	Wanda	90	60	52	45	40	34	30	25	142
4	BESS	86	58	42	41	41	35	26	24	130
5	OMI	65	50	40	32	28	24	22	18	90

Dari hasil pengujian kondisi eksisting dapat diketahui Total Distorsi Harmonik untuk arus yang ditimbulkan adanya LHE 20 W adalah THD_i berkisar 90% sampai 142 %, sedang untuk total harmonik tegangan THD_v berkisar 2% sampai 2,2%. Adapun pengukuran individual harmonik pada harmonik ke-3 sebesar 65% sampai 90% dari fundamental. Dan pada harmonik orde ke 17 sebesar 18% sampai 25%.

Karena mulai harmonik ke-3 nilainya cukup signifikan tinggi dengan frekuensi mulai 150 Hz, maka untuk mereduksinya frekuensi *cut-off* nya dimulai dari 150 Hz. Hal ini dapat dilihat dari gambar spektrum harmonik yang ditunjukkan dari osiloskop Gambar 6.

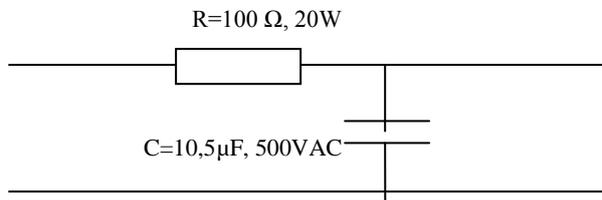


Gambar 6 Spektrum Harmonisa LHE 20 W Sebelum Dipasang Low Pass RC Filter

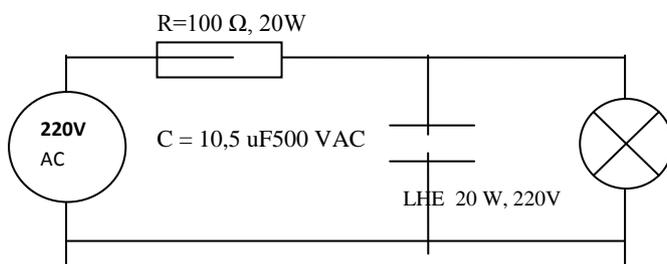
3.2 Perancangan Low Pass RC Filter untuk Reduksi Harmonik LHE 20 W

Berdasarkan hasil pengukuran yang telah dilakukan pada lima sampel lampu LHE, menunjukkan bahwa tingkat distorsi harmonik yang ditimbulkan dengan penggunaan LHE tersebut cukup tinggi yaitu rata-rata THD 125%, maka perlu dirancang sebuah filter yang dapat mereduksi yang terdiri dari resistor dan kapasitor. Filter ini diharapkan dapat melewati frekuensi yang berada di bawah frekuensi *cut-off* dan memotong atau mengurangi amplitudo diatas frekuensi *cut-off*, dalam perancangan ini frekuensi *cut-off*-nya ditentukan sebesar 150 Hz, sedangkan untuk menentukan kapasitor yang akan digunakan sebagai filter tentu yang ada di pasaran. Dalam perancangan ini akan digunakan kapasitor *non polar* 3 kapasitor, masing-masing 3,5µF 500 VAC, atau 10,5 µF 500 VAC, Dengan memasukkan nilai kapasitor tersebut maka diperoleh nilai resistor (R) = 101,1Ω. Perancangan ini digunakan Resistor R = 100Ω, 20W. Berdasarkan hasil perancangan *Low Pass RC filter*, diharapkan amplitude gelombang yang mempunyai frekuensi dibawah 150 Hz akan dilewatkan. Sedang frekuensi diatas 150 Hz akan mengalami peredaman.

Langkah berikutnya adalah memasang filter pada rangkaian LHE. Gambar rancangan *Low Pass RC filter* dan gambar rangkaian diperlihatkan pada Gambar 7 dan Gambar 8.



Gambar 7 Rancangan *Low Pass RC Filter*



Gambar 8 Rangkaian LHE 20 W dengan *Low Pass RC Filter*



Gambar 9 Pengukuran Spektrum Harmonik LHE dengan *Low Pass RC Filter*

3.3 Hasil Pengukuran Lampu Hemat Energi Setelah Dipasang *Low Pass RC Filter*

Hasil pengukuran variabel kelistrikan dari sampel lampu hemat energi yang terdiri dari tegangan (V), arus (I), frekuensi (F), daya aktif (P), daya Reaktif (Q), daya nyata (S), factor daya (cosQ) serta Total Distorsi Harmoni arus (THD_I) dan Total Distorsi Harmonik Tegangan (THD_V) diperlihatkan pada Tabel 5. Sedangkan hasil pengukuran individual harmonik arus tiap merek lampu LHE 20W, pada merek sampel setelah difilter pada harmonik ke 3, 5, 7, 9, 11, 13, 15 dan 17 dapat dilihat pada Tabel 6.

TABEL 5
HASIL PENGUKURAN LHE 20W, SETELAH DIPASANG *LOW PASS RC FILTER*

Merek	Tegangan V (Volt)	Arus I (Amp)	Daya Aktif P (Watt)	Daya Nyata S (VA)	Daya Reaktif Q (VAR)	Cosφ	THD-I (%)	THD-V (%)
Hitachi	220	0.12	19.80	26.4	17.46	0.75	7.8	1.2
Liechten	220	0.14	19.10	30.8	24.17	0.62	7.6	1.2
Wanda	220	0.142	18.74	31.24	24.99	0.6	6	1.2
Bess	220	0.15	19.14	33	26.88	0.58	9.3	1.2
Omi	220	0.05	6.05	11	9.19	0.55	3.6	1.2

TABEL 6
HASIL PENGUKURAN INDIVIDUAL HARMONIK LHE 20 W, SETELAH DIPASANG *LOW PASS RC FILTER*

No	Merek	MARMONIK ARUS (%)								THD (%)
		3	5	7	9	11	13	15	17	
1	Hitachi	70	35	12	15	14	8	8	8	7,8
2	LIECHTEN	68	35	10	14	15	7	8	7	7,6
3	Wanda	65	30	11	13	14	7	7	7	6
4	BESS	75	38	15	12	14	11	10	10	9,3
5	OMI	45	27	12	11	10	8	4	2	3,6



Gambar 10 Spektrum Harmonik pada LHE 20 W Setelah Dipasang *Low Pass RC Filter*

Dari hasil pengukuran kelistrikan dan prosentase harmonik pada rangkaian LHE 20W setelah dipasang *low pass RC filter* terdapat penurunan prosentase harmonik yang cukup signifikan untuk THDi yaitu dari 117% menjadi 7,8%, untuk merek lain 142% menjadi 6%, sedang untuk individual harmoniknya dapat dilihat pada Tabel 4 dan Gambar 10, yakni pada harmonik orde 3 dari 90% menjadi 65 % dan pada harmonik orde 13 dari 34 % menjadi 7%.

Hasil rancangan *Low Pass RC Filter* yang dibuat untuk penelitian ini diperlihatkan pada Gambar 11.



Gambar 11 *Low Pass RC Filter* 20 W

IV. KESIMPULAN

Dari hasil penelitian tentang perancangan *Low Pass RC Filter* untuk mereduksi harmonik pada LHE 20 W didapatkan kesimpulan sebagai berikut:

1. Sebelum dipasang *low pass RC filter*, hasil pengukuran menunjukkan Total Harmonik Distorsi arus (THD_I) pada 5 sampel LHE 20W, berkisar antara 90% sampai 142%, Total Harmonik Distorsi tegangan (THD_V), berkisar antara 2% sampai 2,2%.
2. Setelah dipasang *Low Pass RC Filter*, hasil pengukuran menunjukkan Total Harmonik Distorsi arus (THD_I) pada 5 sampel LHE 20 W, berkisar antara 3,6 % sampai 9,3 %, Total Harmonik Distorsi tegangan (THD_V), berkisar antara 1,2%.
3. *Low pass RC filter* hasil rancangan jika dihubungkan pada rangkaian LHE 20W dapat mereduksi prosentase harmonik arus (THD_I) dari 142 % menjadi 9,3 %, dan (THD_V) 2,2% menjadi 1,2 %.
4. Faktor daya pada LHE jika dipasang *Low Pass RC filter* akan naik dari 0,59 menjadi 0,75.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Arrilangga, Smith Jos, Neville R.W., "Power System Harmonic", John Wiley & Son, New York, 1977, hal 5-7.
- [2] Dugan, Roger C., Mc Granaghan, Mark F., Santoso, Surya., Beaty, H. Wyne., *Electrical Power Systems Quality*, The McGraw-Hill Companies, NewYork, 2004.
- [3] Skvarerina, Timothy L., *The Power Electronics Handbook*, CRC Press, New York, 2002, hal 142.
- [4] IEEE Standars Association, *Recommended Practies and Requirement for Harmonis Control in Electric Power System 519-1992*, IEEE Pres, New York, 1993.
- [5] Sastry Vedam R., Mulukutla S., *Power Quality Var Compensation in Power System*, CRC. Press. New York, 2009.