

Analisa Pemanfaatan Harmonisa Sebagai Sumber Energi Alternatif dengan Filter Pasif

Muhammad Ridwan Arif Cahyono

Program Studi Teknik Elektronika, Politeknik Gajah Tunggal

*Corresponding author, e-mail: ridwan@poltek-gt.ac.id

Abstrak— Motor induksi 3 fasa biasanya menggunakan inverter untuk mengatur kecepatannya. Dalam inverter terdapat rangkaian penyearah gelombang penuh yang menghasilkan harmonisa. Rangkaian penyearah ini umumnya menggunakan konverter 6 pulsa. Untuk mengurangi harmonisa tersebut, maka dipasang filter. Pada makalah ini filter yang digunakan adalah filter LC untuk mereduksi harmonisa ke-5 dan harmonisa ke-7. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisa pemanfaatan harmonisa tersebut sebagai sumber energi dengan cara mengganti komponen induktor (L) dari filter LC dengan sebuah transformator sehingga arus harmonisa akan menginduksi tegangan ke sisi sekunder transformator dan selanjutnya bisa dimanfaatkan sebagai sumber daya. Dari hasil simulasi PSIM dihasilkan daya keluaran transformator sebesar 138 Watt. Perbaikan kualitas daya semula 0,955 naik menjadi 0,967 dan besar THD arus harmonisa turun dari 21,2% menjadi 7,1%.

Kata Kunci : harmonisa, filter LC, Transformator and PSIM

Abstract— A three phase induction motor usually uses an inverter to adjust the speed. In the inverter there is a full wave rectifier circuit that produces harmonics. This rectifier circuit generally uses a six pulse converter. A filter is installed to reduce the harmonics. In this paper, LC filter is used to reduce the 5th and 7th harmonics. This research aims to analyze utilization of the harmonic as a source of energy by replacing the inductor (L) component of the filter with a transformer. Harmonic currents will induce the transformers and generate voltage on secondary side which can be use as source of power. The simulation of PSIM results the generated output power of the transformer is 138 Watts. The power quality rise from 0.955 to 0.967 and the magnitude of THD drops from 21.2% to 7.1%.

Keywords : Harmonic, LC Filters, Transformer and PSIM

1. Pendahuluan

Harmonisa adalah cacat gelombang yang disebabkan oleh interaksi antara gelombang sinusoidal sistem dengan komponen gelombang lain yang mempunyai frekuensi kelipatan integer dari komponen fundamentalnya. Secara umum besar distorsi harmonid dinyatakan dalam Total Harmonic Distortion (THD) [1].

Harmonisa memberikan dampak jangka pendek dan jangka panjang. Apabila distorsi tegangan diatas 10% maka akan selalu menyebabkan trip jaringan dan pemanasan trafo. Selain itu timbul masalah dalam pengukuran, yaitu meningkatkan tegangan RMS, dan menurunkan faktor daya. Pada Tabel 1 ditunjukkan hubungan Total Harmonic Distortion (THD) arus dengan faktor daya sebenarnya secara teori [1].

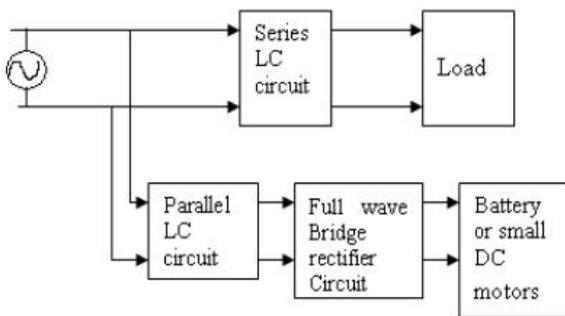
Untuk mengatasi masalah harmonisa tersebut dan meningkatkan mutu kualitas daya, salah satu metoda yang digunakan yaitu dengan memanfaatkan filter. Umumnya filter yang digunakan yaitu filter RC, LC, dan filter aktif [2]. Fungsi filter adalah menghilangkan frekuensi gelombang pengganggu atau gelombang selain pada frekuensi fundamental.

Tabel 1. Maksimum Faktor Daya Sebenarnya pada sistem non linier [1]

THD Arus	Maximum PF Sebenarnya
20%	0.98
50%	0.89
100%	0.71

Selama ini harmonisa hanya di filter saja tanpa dimanfaatkan lebih lanjut. Disisi lain, salah satu komponen filter yaitu induktor dapat digantikan oleh transformator merupakan peralatan elektronik yang terdiri dari 2 jenis kumparan induktor. Tujuan penelitian ini adalah mengganti induktor pada filter dengan transformator, sehingga akan didapat sumber tegangan yang diinduksi pada sisi sekunder transformator yang selanjutnya daya yang tersebut dapat dimanfaatkan. Daya yang dihasilkan ini merupakan energi dari arus harmonisa.

Konsep dasar pemanfaatan harmonisa sebagai sumber energi sudah pernah dilakukan dengan menggunakan filter LC [2]. Output tegangan digunakan untuk menggerakkan motor atau disimpan dalam baterai seperti ditunjukkan pada Gambar 1. Hasil penelitian tersebut, masih memiliki kekurangan yaitu performansi filter yang masih rendah.



Gambar 1. Konsep pemamfaatan harmonisa sebagai sumber energi [2]

Penelitian mengenai parameter filter yang efektif pada filter LC sudah pernah dilakukan sebelumnya, disebutkan bahwa rentang efektif untuk induktor (L) dan kapasitor (C) berturut-

turut yaitu 0-250mH and 0-20 μ F [3]. Penelitian lain mengenai filter LC dilejaskan dalam [4], disebutkan bahwa LC filter dapat melakukan redaman lebih baik, mengurangi rugi-rugi, dan mengurangi biaya.

2. Tinjauan Pustaka

2.1. Harmonisa

Harmonisa merupakan suatu fenomena yang timbul akibat pengoperasian beban listrik non linier, yang merupakan sumber terbentuknya gelombang frekuensi tinggi (kelipatan dari frekuensi fundamental, misal: 100Hz, 150Hz, 200Hz, 300Hz, dan seterusnya) [5].

Sumber-sumber harmonisa [5] :

1. Penyearah
2. Lampu Hemat Energi (LHE).

2.2. Filter Pasif

Aplikasi filter pasif merupakan metode penyelesaian yang efektif dan ekonomis untuk masalah harmonisa. Filter pasif sebagian besar didesain untuk memberikan bagian khusus untuk mengalihkan arus harmonisa yang tidak diinginkan dalam sistem tenaga. Filter pasif banyak digunakan untuk mengkompensasi kerugian daya reaktif akibat adanya harmonisa pada sistem instalasi. Rangkaian filter pasif terdiri dari komponen R, L, dan C [5].

2.3. Standar IEEE 519-1992

Tabel 2 dan Tabel 3 menunjukkan Standar IEEE 519-1992, mengenai batas maksimum THD yang disarankan.

Tabel 2. Standar THD Tegangan [6]

Bus Voltage at PCC	Individual Voltage Distortion (%)	Total Voltage Distortion THD (%)
Bellow 69 kV	3.0	5
69 kV to 161 kV	1.5	2.5
161 kV and above	1.0	1.5

NOTE: High-voltage systems can have up to 2.0% THD where the cause is an HVDC terminal that will attenuate by the time it is tapped for a user

Tabel 3. Standar THD Arus [6]

Maximum Harmonic Current Distortion in Percent of I_L						
Individual Harmonic Order (Odd Harmonics)						
I_{sc}/I_L	<11	11≤h<17	17≤h<23	23≤h<35	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

Even harmonics are limited to 25% of the odd harmonic limits above.

Current distortions that result in a dc offset, e.g. half-wave converters, are not allowed.

* All power generation equipment is limited to these values of current distortion, regardless of actual I_{sc}/I_L .

Where

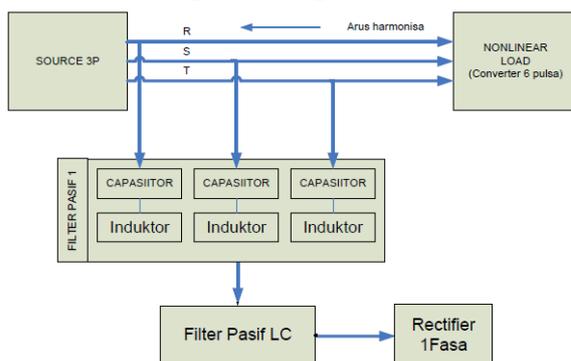
- I_{sc} = maximum short-circuit current at PCC.
- I_L = maximum demand load current (fundamental frequency component) at PCC.
- TDD = Total demand distortion (RSS), harmonic current distortion in % of maximum demand load current (15 or 30 min demand).
- PCC = Point of common coupling.

Gambar 2. Konsep Desain Sistem

3. Desain Sistem

3.1. Konsep Desain Sistem

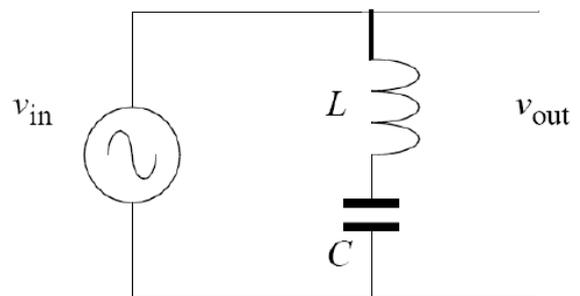
Desain rancang sistem ditunjukkan seperti pada Gambar 2. Dalam desain sistem ditujukan untuk memfilter beban harmonisa dari motor dengan inverter motor 3 fasa. Inverter tersebut dimodelkan dalam rangkaian konverter 6 pulsa. Induktansi filter diganti dengan transformator. Filter tersebut diterapkan pada sistem 3 fasa, sehingga terdapat 3 buah filter untuk mereduksi harmonisa pada frekuensi ke-n. Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh A Reznik, pada filter LCL akan lebih efektif apabila ketika kapasitor terhubung secara hubung Delta [7], sehingga dalam makalah ini filter LC juga dimodelkan dengan hubung Star.



Arus dengan frekuensi diatas frekuensi dasar, akan dimanfaatkan dengan transformator sebagai sumber energi. Dalam makalah ini akan dianalisa frekuensi harmonisa tersebsar. Tegangan keluaran dari transformator berupa tegangan AC, lalu dikonversi menjadi tegangan DC dengan rectifier. Pada makalah ini akan dianalisa daya tegangan DC yang mampu dihasilkan dari filter harmonisa.

3.2. Desain Filter LC

Desain filter LC ditunjukkan pada Gambar 3.



Gambar 3. Desain filter LC

Dari Gambar 3 tampak bahwa sebuah filter LC terbuat dari Kapasitor (C) dan induktor (L). Filter LC dapat mereduksi harmonisa arus karena arus harmonisa akan mengalir pada reaktansi yang lebih rendah. Dengan pemasangan C, arus dengan frekuensi tinggi akan mengalir melalui kapasitor karena kapasitor memiliki impedansi

yang rendah pada frekuensi tinggi. Agar tegangan beban bebas harmonisa, dipasang filter C yang paralel dengan beban. Dengan menggunakan filter C ini semua riak arus dengan frekuensi tinggi akan mengalir melewati kapasitor bukan ke beban.

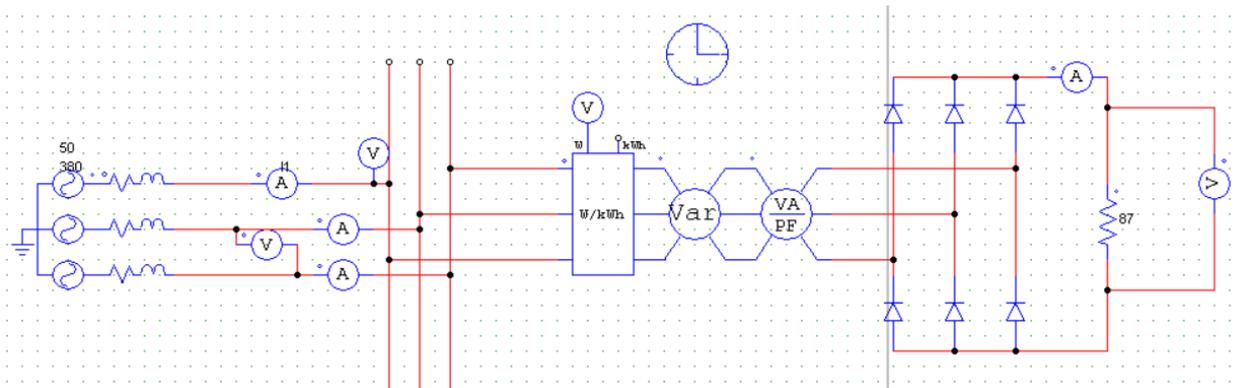
Filter LC bertujuan untuk mengurangi harmonisa orde tinggi pada sisi jaringan, tetapi desain filter yang buruk dapat menyebabkan redaman yang lebih rendah dibandingkan dengan apa yang diharapkan. Penyearah arus harmonisa dapat menyebabkan kejenuhan induktor atau

resonansi filter. Oleh karena itu, induktor harus benar dirancang dengan mempertimbangkan arus ripple, dan filter harus teredam untuk menghindari resonansi.

4. Analisa dan Pembahasan

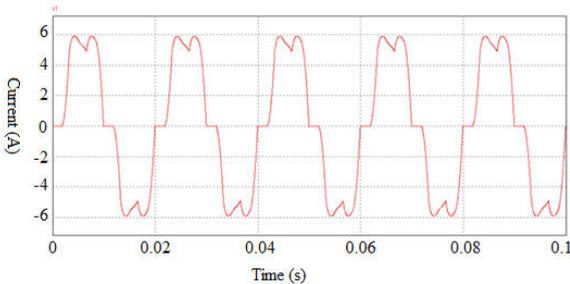
4.1. Pemodelan Sistem

Dalam analisa ini digunakan software PSIM untuk melakukan simulasi sistem. Pemodelan sistem ditunjukkan pada Gambar 4.



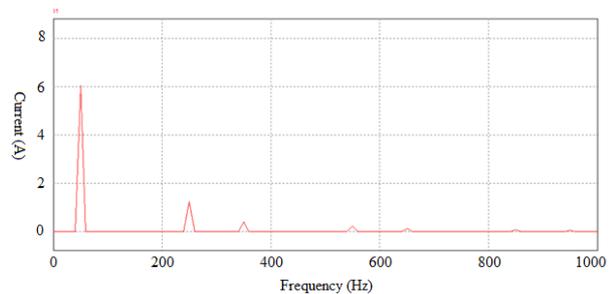
Gambar 4. Pemodelan Sistem

Sumber tegangan berupa sumber tegangan 3 fasa dengan V_{rms} sebesar 380 Volt dengan frekuensi 50 Hz. Inverter dimodelkan dengan konverter 6 pulsa, dan beban dimodelkan dengan resistor. Pada sistem tersebut dihasilkan arus harmonisa seperti ditunjukkan pada Gambar 5.



Gambar 5. Arus pada sisi jaringan

Gambar 5 menunjukkan arus di sisi jaringan. Gelombang arus terdapat ripple, sehingga gelombang tidak berupa sinus murni. Hal ini menunjukkan terdapat pengaruh harmonisa, sehingga gelombang sinus arus berubah. Apabila dilakukan analisa FFT (Fast Fourier Transform), dapat ditunjukkan frekuensi yang terdapat pada gelombang arus tersebut seperti ditunjukkan pada Gambar 6.



Gambar 6. Spektrum frekuensi gelombang Arus

Dari Gambar 6 diatas ditunjukkan terdapat frekuensi lain yang bekerja pada sistem selain frekuensi dasar, yaitu 50 Hz. Frekuensi lain terbesar berturut-turut yaitu 250 Hz (harmonisa ke-5), dan 350 Hz (harmonisa ke-7) seperti ditunjukkan pada Tabel 4. Besar THD arus yang terjadi pada sistem yaitu 21,2%.

Tabel 4. Pengukuran THD Arus pada Sistem

	Dasar	H ₅	H ₇	H ₉
Arus (A)	6,0	1,21	0,4	-

4.2. Perancangan Filter

Pengukuran parameter sistem sebagai berikut:

Daya = 2,63 kW
 $pf_0 = 0,955 \rightarrow \phi_1 = 17^\circ$

Filter dirancang selain untuk menghilangkan harmonisa, juga dirancang untuk meningkatkan faktor daya sistem.

$Pf_1 = 0,999 \rightarrow \phi_2 = 8^\circ$

Menghitung kebutuhan kapasitor.

$$Q_c = P(\tan(\phi_1) - \tan(\phi_2)) \quad (1)$$

$Q_c = 485 \text{ VAR.}$

$$C = \frac{Q_c}{v^2 \times 2 \times \pi \times f}$$

$C = 9.56 \mu F$

Kapasitor terhubung secara delta, sehingga nilai kapasitansi yang akan digunakan sebagai berikut.

$$C_{\text{delta}} = \frac{9.56 \mu F}{3}$$

$C_{\text{delta}} = 3.18 \mu F$

Nilai kapasitansi sebesar 3.18 μF digunakan dalam rangkaian filter LC seperti pada Gambar 7, karena rangkaian kapasitor menggunakan hubung delta. Sedangkan untuk menghitung kebutuhan induktor untuk filter harmonisa ke-5 dan ke-7 menggunakan nilai kapasitansi total yaitu 9.56 μF .

$$L = \frac{1}{4 \times \pi^2 \times F_n^2 \times C} \quad (2)$$

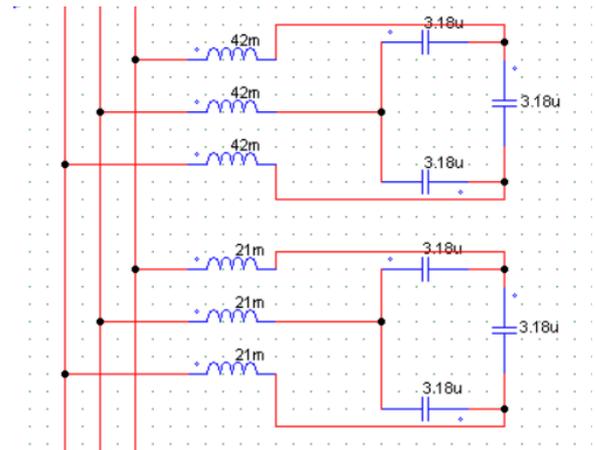
$$L_5 = \frac{1}{4 \times \pi^2 \times 250^2 \times 9.56 \mu F}$$

$L_5 = 0.042 \text{ H}$

$$L_7 = \frac{1}{4 \times \pi^2 \times 350^2 \times 9.56 \mu F}$$

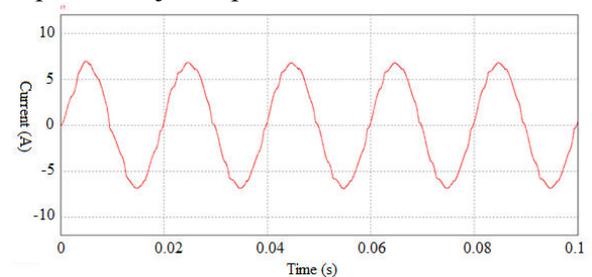
$L_7 = 0.021 \text{ H}$

Dari perhitungan diatas didapat nilai induktansi untuk harmonisa ke 5 sebesar 0.042 H dan harmonisa ke 7 sebesar 0.021 H. Filter LC kemudian dihubungkan pada sisi jaringan, seperti ditunjukkan pada Gambar 7.

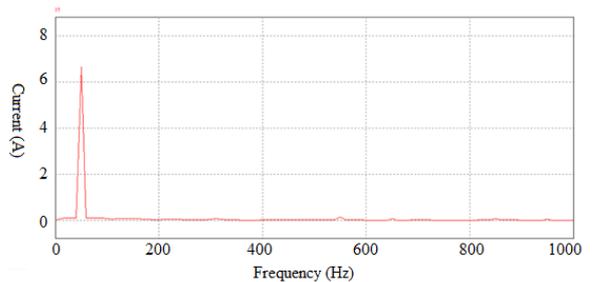


Gambar 7. Pemasangan Filter harmonisa ke-5 dan ke-7 pada sistem

Setelah dilakukan pemasangan filter, terjadi perubahan arus harmonisa pada sisi jaringan, seperti ditunjukkan pada Gambar 8, dan Gambar 9.



Gambar 8. Arus jaringan setelah difilter



Gambar 9. Spektrum frekuensi arus jaringan setelah difilter

Pada Gambar 8, ditunjukkan bahwa bentuk gelombang arus pada jaringan mengalami perbaikan, bentuknya sudah menyerupai gelombang sinus murni. Pada Gambar 9, ditunjukkan bahwa arus harmonisa pada frekuensi harmonisa ke-5 dan frekuensi harmonisa ke-7 berkurang signifikan. Setelah dilakukan pengukuran, arus harmonisa ditunjukkan pada Tabel 5. Selain hal tersebut, terjadi peningkatan faktor daya sistem menjadi 0,971 dan terjadi penurunan THD arus menjadi 0,34%.

Tabel 5. Pengukuran THD Arus Setelah Difer

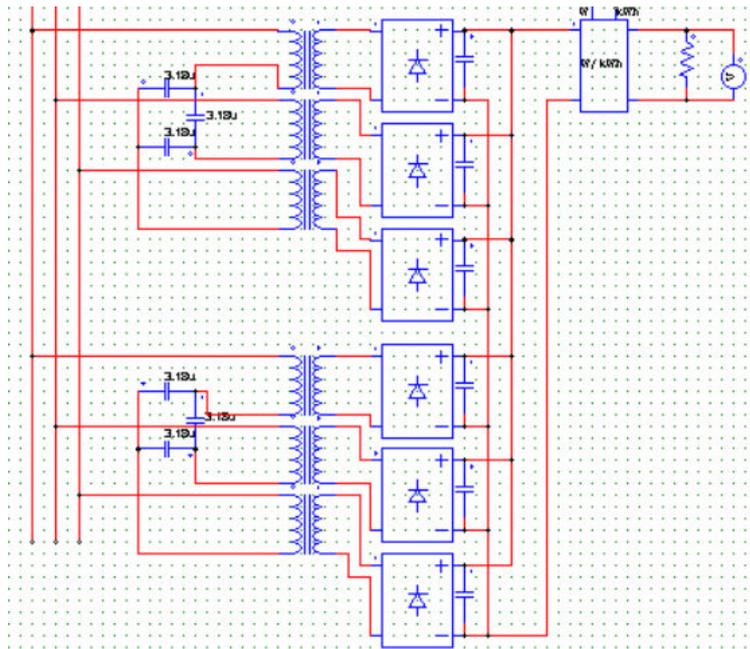
	Dasar	H ₃	H ₅
Arus (A)	6,55	0,02	0,01

4.3. Pemanfaatan arus Harmonisa

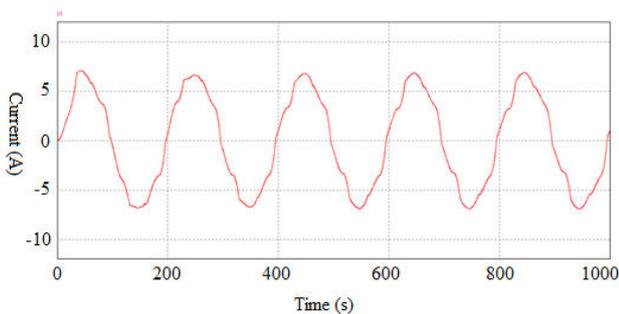
Untuk memanfaatkan arus harmonisa, maka pada bagian Induktor filter diganti dengan rangkaian transformator sebagai kumparan disisi primer. Pada sisi sekunder terhubung dengan rangkaian penyearah, sehingga akan dihasilkan

tegangan DC. Resistor digunakan sebagai simulasi beban, untuk menghitung daya maksimum yang dihasilkan oleh transformator seperti ditunjukan pada Gambar 10.

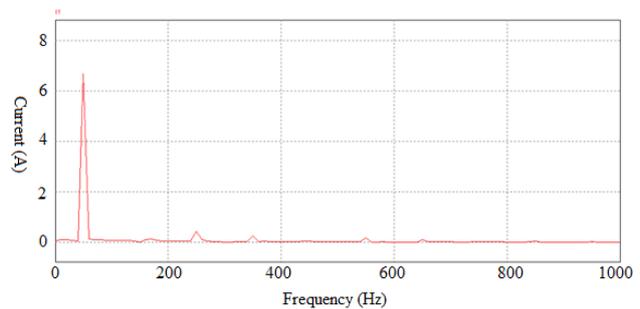
Transformator yang dirancang harus mampu mempertahankan kinerja filter dan tetap mempertahankan kualitas daya. Bentuk gelombang arus setelah filter dimodifikasi dan spektrum frekuensi ditunjukkan seperti pada Gambar 11 dan Gambar 12.



Gambar 10. Modifikasi Filter dengan transformator



Gambar 11. Gelombang arus setelah filter dimodifikasi



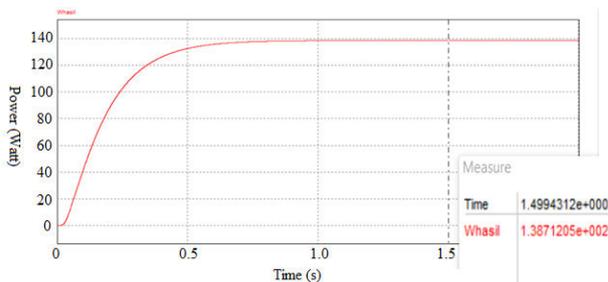
Gambar 12. Spektrum frekuensi arus setelah filter dimodifikasi

Dari Gambar 11 ditunjukkan bahwa gelombang sinus arus terdapat tambahan ripple halus jika dibanding dengan rangkaian filter murni. Hal ini diperjelas pada pada Gambar 12, dengan adanya gelombang harmonisa yang lebih besar pada frekuensi 250 Hz dan 350 Hz. Besar

arus harmonisa ditunjukkan seperti pada Tabel 6. Besar faktor daya sistem menjadi 0,967 dan THD arus pada sistem sebesar 7,1%.

Tabel 6. Pengukuran THD Arus Setelah Filter Dimodifikasi

	Dasar	H ₃	H ₅	H ₇
Arus (A)	6,67	0,42	0,23	-

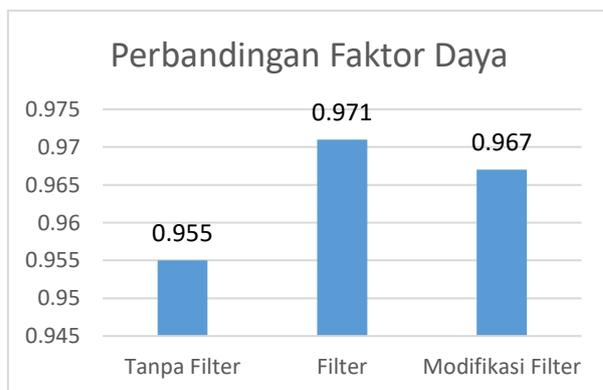


Gambar 13. Daya keluaran transformator

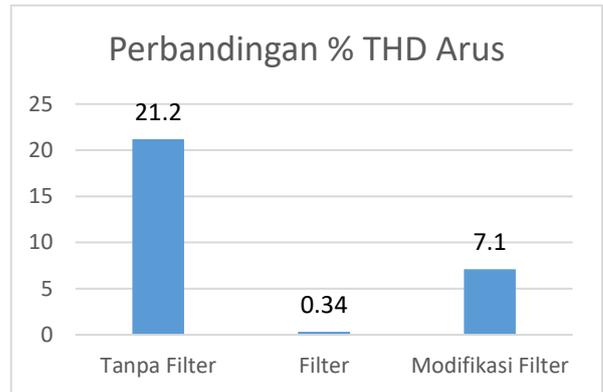
Dari modifikasi ini dihasilkan daya pada sisi sekunder transformator sebesar 138 Watt seperti ditunjukkan pada Gambar 13. Daya ini dapat dimanfaatkan langsung dengan mengubahnya menjadi tegangan AC, atau menyimpannya ke dalam baterai.

4.4. Analisa Kualitas Daya Sistem

Modifikasi filter LC menjadi transformator untuk menghasilkan sumber energi berdampak pada menurunkan kualitas filter yang digunakan seperti yang ditunjukkan pada Gambar 14 dan Gambar 15. Dengan modifikasi filter ini, terjadi penurunan faktor daya sistem, tetapi tidak kurang dari faktor daya sistem semula. Selain itu THD arus bertambah, tetapi masih kurang dari kondisi semula. Sehingga kinerja filter masih berfungsi untuk mengurangi arus harmonisa.



Gambar 14. Perbandingan faktor daya



Gambar 15. Perbandingan % THD Arus

5. Kesimpulan

Berdasarkan simulasi menggunakan software PSIM yang telah dilakukan, penggunaan filter LC dapat dimanfaatkan sebagai filter arus harmonisa untuk menghilangkan harmonisa ke-5 dan harmonisa ke-7. Dengan mengganti komponen induktif filter dengan transformator, maka dapat dihasilkan sumber energi sebesar 138 Watt. Perbaikan kualitas daya yang terjadi dengan modifikasi filter yaitu faktor daya semula 0,955 naik menjadi 0,967 dan besar THD arus harmonisa turun dari 21,2% menjadi 7,1%.

Daftar Pustaka

- [1] Grady, W. Mack, and Surya Santoso. "Understanding power system hannonics." *IEEE Power Engineering Review* vol. 21 no.11, 2001
- [2] Vishak Venkatraman, "Power System Harmonics As Useful Energy Sources", *2nd International Conference on Environmental Science and Technology IPCBEE vol.6*, Singapore, 2011.
- [3] Areerak, Kongpol, Soupagorn Visawa-Phatra-Dhanadhorn, and Sarawut Sujitjorn. "Hybrid compensation for harmonic and power factor in single-phase AC drive." *Proceedings of the 4th international conference on Circuits, systems and signals. World Scientific and Engineering Academy and Society (WSEAS)*, 2010.
- [4] Azri, Maaspaliza, and Nasrudin Abd Rahim. "Design analysis of low-pass passive filter in single-phase grid-

- connected transformerless inverter." *Clean Energy and Technology (CET)*, IEEE First Conference on. IEEE, 2011
- [5] I Nengah Suweden dan I Wayan Rinas.: "Analisa Penanggulangan THD Dengan Filter Pasif Pada Sistem Kelistrikan di RSUP Sanglah", *Teknologi Elektro* Vol. 7 No. 2, 2009
- [6] Blooming, Thomas M., and Daniel J. Carnovale. "Application of IEEE Std 519-1992 harmonic limits." *Pulp and Paper Industry Technical Conference, Conference Record of Annual. IEEE*, 2006.
- [7] Reznik, Aleksandr, Marcelo Godoy Simões, Ahmed Al-Durra, and S. M. Muyeen. LCL filter design and performance analysis for grid-interconnected systems." *IEEE Transactions on Industry Applications* vol. 50, no. 2, pp 1225-1232, 2014.

Biodata Penulis

Muhammad Ridwan Arif Cahyono, merupakan Dosen Tetap di Program Studi D3 Teknik Elektronika Politeknik Gajah Tunggal, Tangerang. Dimana Pendidikan S1 merupakan lulusan dari Teknik Fisika Universitas Gadjah Mada dan S2 lulusan dari Teknik Elektro Universitas Indonesia. Saat ini menekuni bidang riset terkait dengan Kualitas Daya Listrik, Manajemen Energi, dan Pemrograman Berbasis Java.