

Filter Pasif Untuk Mereduksi dan Memanfaatkan Harmonisa Ke-5 dan 7 pada Beban Konverter 6 Pulsa Sebagai Sumber Energi Dengan Menggunakan Full Bridge DC-DC Converter dan Inverter

Suryono¹, Sutedjo², M. Zaenal Efendi³, Andrias Ade⁴, Sigit Prasetya⁵

Teknik Elektro Industri, Politeknik Elektronika Negeri Surabaya

Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS) Surabaya

Email : Rhezaseepis@yahoo.com , Praz_mu@yahoo.com

Abstrak

Rangkaian penyearah gelombang penuh tak terkontrol tiga fasa menimbulkan harmonisa yang besar. Dengan timbulnya harmonisa tersebut maka dilakukan pengurangan spektrum harmonisa dengan cara pemasangan filter pasif, filter pasif tersebut dipasang pada frekuensi 250 Hz dan 350 Hz karena pada kedua frekuensi tersebut memiliki spektrum harmonisa yang paling dominan.

Untuk melewatkan harmonisa ke-5 dan ke-7, digunakan transformator yang memakai inti kern dengan nilai induktansi primer sama dengan induktansi induktor hasil perhitungan. Transformator akan menginduksi tegangan disisi primer ke sisi sekunder dengan demikian tegangan pada sisi sekunder dapat dimanfaatkan. Kemudian disearahkan menggunakan full bridge rectifier 1 fasa dan selanjutnya arus tersebut digunakan untuk mencharge accu dan dikuatkan dengan full bridge dc-dc converter dan inverter untuk dimanfaatkan sebagai sumber energi alternatif. Karena input tegangan DC dari filter fluktuatif maka pada Full Bridge DC-DC Converter di lengkapi dengan kendali PI. Dengan demikian diharapkan tercapai kestabilan sistem yang maksimal.

Berdasarkan simulasi yang telah dilakukan, bahwa penggunaan filter pasif dapat mengurangi THD pada harmonisa akibat beban non-linier yaitu rectifier 6 pulsa. THDi mengalami perubahan dari 25.24 % menjadi 4.95 %. Prosentase daya yang bisa dimanfaatkan untuk kebutuhan energi alternatif 450 VA 220 V adalah sebesar 1.985 % dari daya beban.

Kata Kunci: harmonisa, filter pasif, full bridge dc-dc converter

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. Pemanfaatan harmonisa ini sudah pernah dilakukan

sebelumnya yaitu pada paper dan makalah mahasiswa elektro industri tahun 2003.

[1] Dari makalah yang dikerjakan oleh saudara Choirul Huda yaitu "*Pemanfaatan Harmonisa Sebagai Sumber Energi dengan Menggunakan Filter*". Di bukunya berisi ulasan tentang cara mengurangi kadar harmonisa ke-5 yang dominan pada converter 6 pulsa dengan menggunakan metode tune filter. Pemanfaatan harmonisa masih sebatas untuk harmonisa yang ke-5 saja dan pengambilan harmonisa serta pemanfaatannya belum bisa optimal dikarenakan desain filter pasif yang masih kurang tepat.

[2] Anthoni Santoso Putra dalam tugas akhir yang berjudul "*Pemanfaatan Harmonisa Sebagai Sumber Energi Dengan Menggunakan Filter (Boost Converter Dan Inverter 1 Fasa)*", menjelaskan tentang penggunaan boost converter dan inverter 1 fasa untuk menaikkan tegangan yang dihasilkan inductor filter (24 volt) menjadi 220 volt. Penggunaan boost converter tersebut kurang maksimal serta tanpa menggunakan kontrol.

Berdasarkan kondisi demikian, maka dalam paper ini dilakukan pengembangan yaitu pengambilan dan pemanfaatan harmonisanya dilakukan pada harmonisa ke-5 dan ke-7 dengan memakai metode detune filter (pergeseran frekuensi) dalam pengambilan harmonisa. Selain itu converter daya yang digunakan adalah full bridge DC-DC converter dengan kontrol PI sebagai kontrol tegangan konstan. Dengan demikian diharapkan dapat memperoleh energy alternatif yang lebih baik dan maksimal.

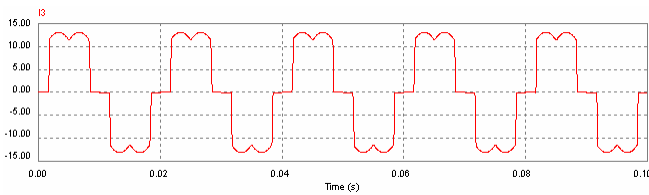
2. Harmonisa

2.1. Pengertian Harmonisa

Pada sistem tenaga listrik AC yang ideal, energi listrik disalurkan dalam frekuensi tunggal yang konstan serta pada level tegangan yang juga konstan. Tetapi dengan perkembangan beban listrik yang semakin maju, terutama penggunaan beban-beban tak linier, akan menimbulkan perubahan pada bentuk gelombangnya.

Cacat gelombang yang disebabkan oleh interaksi antara bentuk gelombang sinusoidal sistem dengan komponen gelombang lain lebih dikenal dengan harmonisa, yaitu komponen gelombang lain yang mempunyai frekuensi

kelipatan integer dari komponen fundamentalnya seperti ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Gelombang arus jala-jala akibat

Penggunaan beban nonlinear(konverter 6 pulsa)

Gambar 1 merupakan gelombang arus jala-jala yang tidak sinusoidal dikarenakan terjadi distorsi akibat pemakaian beban converter 6 pulsa.

2.2. Sumber – Sumber Harmonisa

Komponen-komponen sistem tenaga listrik yang dapat menimbulkan arus harmonisa hendaknya perlu diperhatikan, dengan tujuan untuk memprediksi permasalahan yang diakibatkan oleh harmonisa, sehingga sudah dapat diperkirakan cara yang tepat untuk menekan kehadiran harmonisa tersebut, baik dengan cara memasang filter, maupun mendesain peralatan listrik agar dampak harmonisa yang ditimbulkan peralatan tersebut masih dibawah standar yang ditentukan. Berikut ini adalah beberapa contoh sumber-sumber harmonisa:

1. Konverter
2. Tanur Listrik
3. Induktor
4. Penyearah (rectifier)

3. Filter Pasif

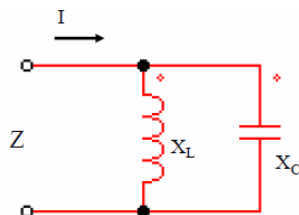
3.1. Pengertian

Filter Pasif merupakan rangkaian paralel atau seri antara komponen induktor (L) dan kapasitor (C). Rangkaian filter dapat ditala pada suatu frekuensi tertentu dimana impedansi induktor bernilai sama dengan impedansi kapasitor. Keefektifan kerja filter ditentukan oleh perubahan impedansi jaringan, dan sebelum pemasangan diperlukan study yang cermat.

Filter Rangkaian Paralel

$$|Z| = \frac{X_L X_C}{X_L + X_C}$$

$$X_L = j\omega L \quad X_C = -j \frac{1}{\omega C}$$



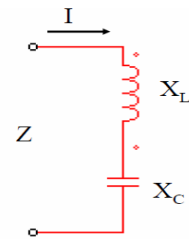
Jika diberi sumber tegangan dengan frekuensi resonansi, F_r , dimana $|X_L| = |X_C|$

- maka $X_L + X_C = 0$, sehingga
- Impedansi Z sangat besar
- Arus I mendekati nol

Filter Rangkaian Seri

$$Z = X_L + X_C$$

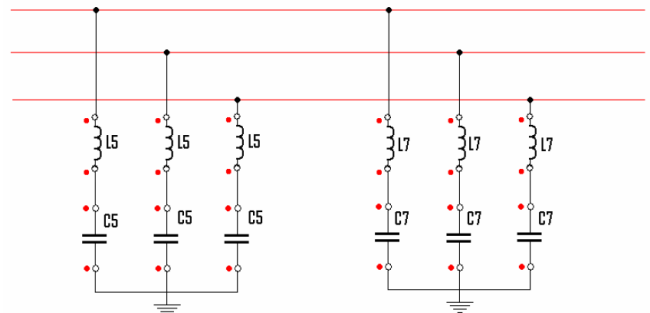
$$X_L = j\omega L \quad X_C = -j \frac{1}{\omega C}$$



Jika diberi sumber tegangan dengan frekuensi resonansi, F_r , dimana $|X_L| = |X_C|$

- maka $X_L + X_C = 0$, sehingga
- Impedansi Z = 0
- Arus I bernilai sangat besar

Dan pemasangan filter pasif seperti pada Gambar 2, terdapat dua filter (filter harmonisa ke-5 dan filter harmonisa ke-7).



Gambar 2. Rangkaian filter pasif untuk system 3phasa

Karena menggunakan sumber tiga fasa maka dalam perancangan tiap fasa diberi rangkaian filter pasif harmonisa.

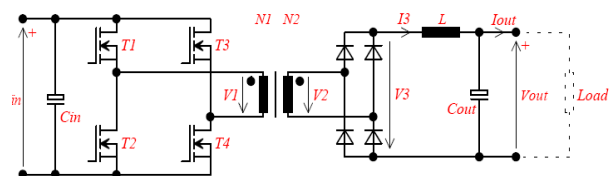
3.2. Tujuan Filter Harmonisa

Fiter Pasif sebagai filter harmoisia berfungsi untuk mengurangi amplitude satu atau lebih frekuensi tertentu dari sebuah tegangan atau arus. Pada frekuensi fundamental dapat mengkompensasi daya reaktif dan memperbaiki faktor daya sistem

Pada paper ini filter pasif juga digunakan sebagai alat pengambilan harmonisa ke-5 dan ke-7 yang ditimbulkan oleh konverter 6 pulsa yang pada nantinya dimanfaatkan sebagai sumber energi alternatif.

4. Full Bridge DC-DC Converter

Full Bridge DC-DC Converter merupakan salah satu jenis isolated switch-mode dc-dc converter, yang terdiri dari empat buah MOSFET. Pada converter ini menghasilkan tegangan AC yang besar amplitudanya tergantung pada input tegangan DC dan rasio belitan high frequency transformer, gambar rangkaian ditunjukkan pada Gambar 3.

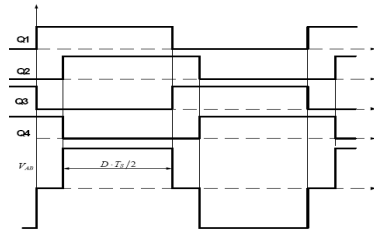


Gambar 3. Full bridge dc-dc converter

Tegangan output dari Full Bridge DC-DC Converter ini dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut:

$$V_{out} = 2 \frac{N_s}{N_p} V_{in} D$$

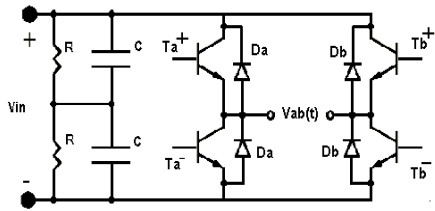
Teknik switching full converter (quasy square wave) dan nilai serta kualitas dari high frequency transformator sangat mempengaruhi performance dari Full Bridge DC-DC Converter. Gambar 4 merupakan switching mosfet pada full bridge dc-dc converter.



Gambar 4. Switching mosfet full bridge dc-dc converter

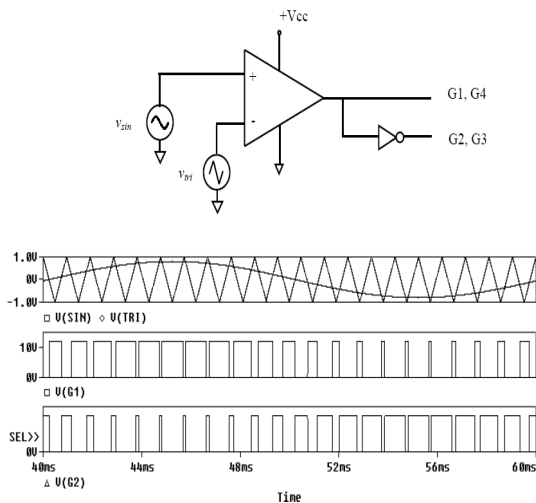
5. SPWM Inverter

Inverter 1 fasa ini digunakan untuk mengubah tegangan DC. Gambar 5 merupakan rangkaian Inverter 1 fasa.



Gambar 5. Inverter 1 fasa

SPWM merupakan teknik penyulutan gate MOSFET pada inverter menggunakan sinyal sinus dan segitiga yang dikomparasikan. Gambar 6 merupakan teknik switching dengan metode SPWM.

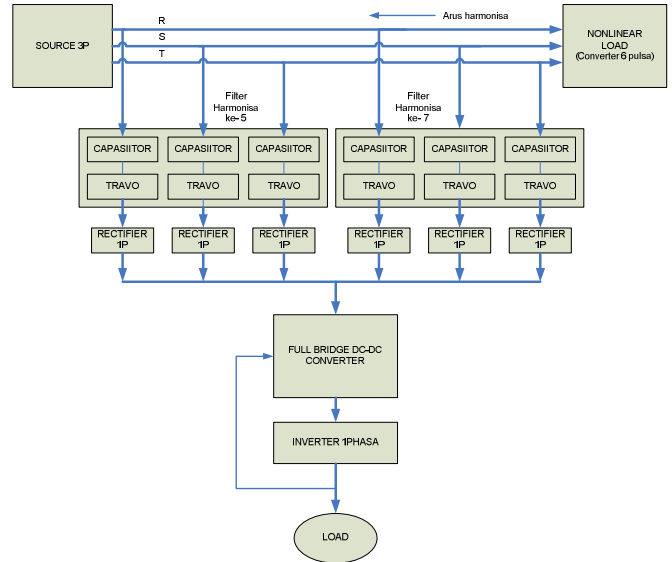


Gambar 6. (Sine Pulse Width Modulation) SPWM

6. Perencanaan Sistem

6.1. Blok Diagram

Perancangan sistem secara keseluruhan dapat dijelaskan seperti blok diagram pada Gambar 7.



Gambar 7. Blok Diagram Sistem

6.2. Perencanaan Filter

Filter yang dirancang disini adalah filter pasif LC yang digunakan untuk mereduksi harmonisa yang dominan yaitu harmonisa ke-5 dan ke-7. Untuk tiap harmonisa, filter pasif ini menggunakan tiga buah transformator satu fasa sebagai pengganti induktor filter untuk melewati arus harmonisa yang diinginkan dan tiga buah kapasitor filter yang dipasang dengan hubungan delta.

Dalam pengambilan arus harmonisanya menggunakan metode detuned filter (pergeseran frekuensi) hal ini dimaksudkan untuk menghindari kemungkinan terjadinya resonansi pada sistem.

Dari pengukuran simulasi dengan PSIM

- $V_{ph} = 214.5V$
- $I_{ph} = 10.19 A$
- $V_{LL} = 371.5V$
- $V_o = 500.1V$
- $I_o = 12.52 A$
- $PF = 0.96$
- $P = 6175 W$
- $S = 6414 VA$

$$\cos \theta_1 = 0.96$$

$$\theta_1 = 16.26^\circ$$

$$\text{diharapkan_PF} = 0.99$$

$$\cos \theta_2 = 0.99$$

$$\theta_2 = 8.11^\circ$$

$$Q_c = P (tg \theta_1 - tg \theta_2)$$

$$Q_c = 6175 (tg 16.26^\circ - tg 8.11^\circ)$$

$$Q_c = 6175 \times (0.29 - 0.14)$$

$$Q_c = 926.25 \text{ VAR}$$

Menghitung nilai kapasitor

- DELTA connection

$$C = \frac{Q_c}{3V_n^2 \omega}$$

$$C = \frac{926.25}{3 \times 371.5^2 \times 6.28 \times 50}$$

$$C = 7.13 \mu\text{F}$$

Menghitung nilai Induktor

- untuk harmonisa ke-5

$$L_5 = \frac{1}{4\pi^2 (F_5)^2 C}$$

$$L_5 = \frac{1}{4(3.14)^2 (235)^2 21.4 \times 10^{-6}}$$

$$L_5 = 21.45 \text{ mH}$$

- untuk harmonisa ke-7

$$L_7 = \frac{1}{4\pi^2 (F_7)^2 C}$$

$$L_7 = \frac{1}{4(3.14)^2 (335)^2 21.4 \times 10^{-6}}$$

$$L_7 = 10.56 \text{ mH}$$

6.3. Perencanaan Full Bridge DC-DC Converter

Perencanaan untuk full bridge DC-DC converter dilakukan dengan jalan menghitung nilai induktor dan kapasitor.

- L critical

$$L_{crit} = \frac{(1-D)}{4} RT$$

$$\text{Dimana } R = \frac{V_{out}^2}{P_{out}} = \frac{230^2}{708.125} = 75.23$$

$$L_{crit} = \frac{(1-0.45)}{4} \times \frac{75.23}{40000} = 258.6 \mu\text{H}$$

- Induktor output

$$L_{out} \geq 10L_{crit}$$

$$L_{out} = 10 \times 258.6 \mu\text{H} = 2.59 \text{ mH}$$

- Kapasitor output

$$\frac{\Delta V_o}{V_o} = \frac{1-D}{8xL_o x C_o x (2f)^2}$$

$$0.001 = \frac{1-0.45}{8x0.00259x C_o x (2.40000)^2}$$

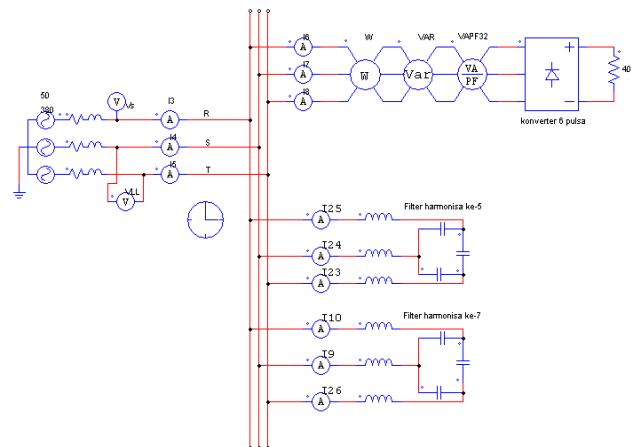
$$C_o = 4.148 \mu\text{F}$$

Untuk Co dipilih 10uF dengan rating tegangan 230 volt keatas.

7. Simulasi Sistem dan Analisa

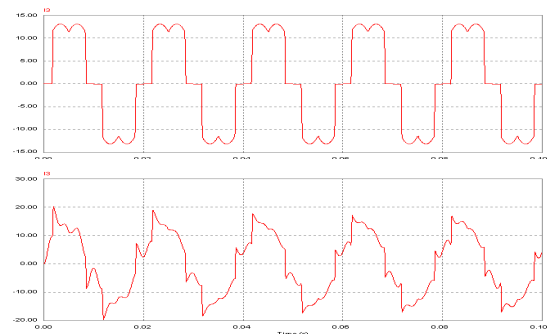
7.1. Simulasi Filter Pasif

Pemasangan filter pasif dilakukan dengan menggunakan hubungan delta.



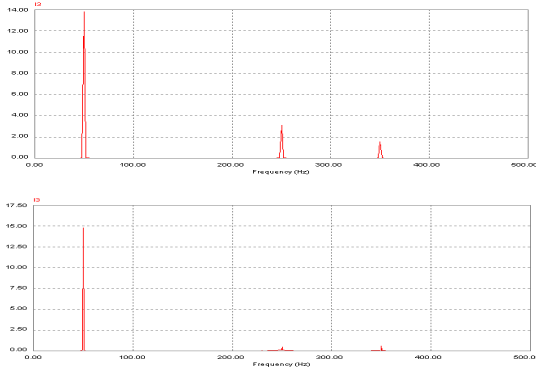
Gambar 8. Pemasangan filter pasif pada sistem

Pada Gambar 8 diatas dilakukan pemasangan filter pasif LC tepatnya filter harmonisa ke-5 dan filter harmonisa ke-7 pada sisi sumber, dikarenakan pada harmonisa tersebut paling dominan.



Gambar 9. Gelombang arus sumber sebelum dan setelah filter

Pada Gambar 9 diatas gambar yang atas adalah bentuk gelombang arus jala-jala sebelum pemasangan filter dan pada gambar dibawahnya adalah bentuk gelombang arus jala-jala setelah pemasangan filter harmonisa ke-5 dan ke-7 dimana bentuk gelombangnya lebih mendekati ke bentuk gelombang sinusoidal.



Gambar 10. Spektrum arus sumber sebelum dan setelah filter

Pada Gambar 10 diatas dapat dilihat dari gambar spektrum arusnya setelah pemasangan filter terjadi penurunan THDi yang cukup besar pada harmonisa yang dikehendaki yaitu pada harmonisa ke-5 dan ke-7.

THDi sebelum pemasangan filter

Menghitung THDi pada converter 6 Pulsa dari simulasi

Fundamental (A)	Harmonisa (A)			
1	5	7	11	13
13.8	3.12	1.55		

$$THDi = \frac{\sqrt{\sum_{h=2}^{\infty} I_h^2}}{I_1} \times 100\%$$

$$THDi = \frac{\sqrt{\left(\frac{3.12}{\sqrt{2}}\right)^2 + \left(\frac{1.55}{\sqrt{2}}\right)^2}}{\frac{13.8}{\sqrt{2}}} \times 100\%$$

$$THDi = \frac{\sqrt{4.867 + 1.201}}{9.759} \times 100\%$$

THDi = 25.24%

THDi setelah pemasangan filter

Menghitung THDi pada converter 6 Pulsa dari simulasi

Fundamental (A)	Harmonisa (A)			
1	5	7	11	13
14.82	0.45	0.58		

$$THDi = \frac{\sqrt{\sum_{h=2}^{\infty} I_h^2}}{I_1} \times 100\%$$

$$THDi = \frac{\sqrt{\left(\frac{0.45}{\sqrt{2}}\right)^2 + \left(\frac{0.58}{\sqrt{2}}\right)^2}}{\frac{14.82}{\sqrt{2}}} \times 100\%$$

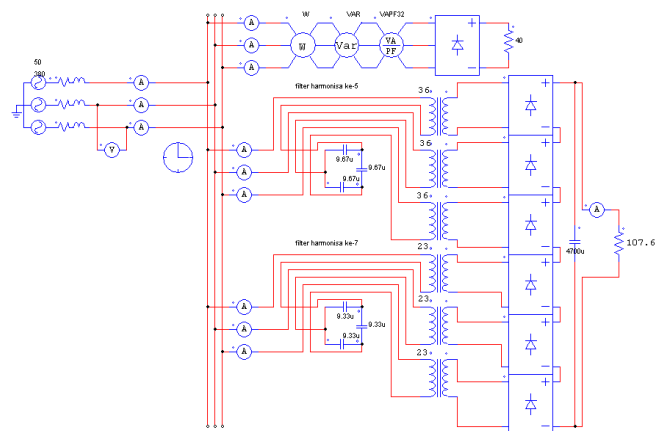
$$THDi = \frac{\sqrt{0.101 + 0.168}}{10.48} \times 100\%$$

THDi = 4.95%

Dari perhitungan diatas dapat diketahui bahwa filter pasif yang dipasang dapat bekerja dengan baik, dimana pemasangan filter pasif harmonisa ke-5 dan ke-7 dapat menurunkan nilai THDi yang cukup besar yaitu dari 25.24% menjadi 4.95%.

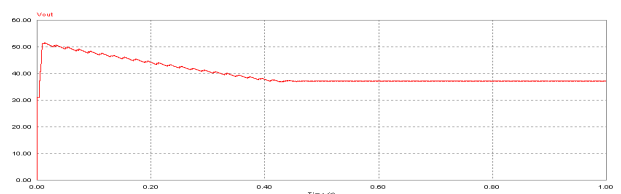
7.2. Simulasi Filter Harmonisa Sebagai Sumber DC

Untuk memanfaatkan arus harmonisa yang diambil dari filter pasif maka cara yang dapat dilakukan yaitu mengganti induktor filter dengan nilai induktansi disisi primer sesuai dengan nilai induktansi filter. Sedangkan sisi sekunder disearahkan untuk di manfaatkan untuk mencharger accu. Gambar 11 merupakan simulasi rangkaian dari charger accu.



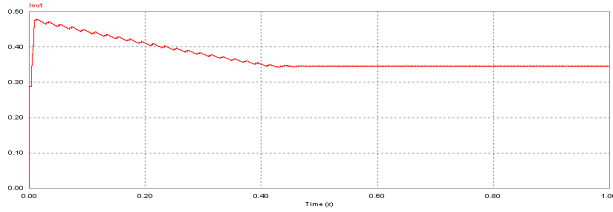
Gambar 11. Filter sebagai sumber DC

Besar tegangan dan arus output DC dapat dilihat pada Gambar 12 dan Gambar 13.



Vout = 40.129 volt

Gambar 12. Tegangan output DC



$I_{out} = 0.373$ ampere

Gambar 13. Arus output DC

Berdasarkan simulasi yang dilakukan konfigurasi seperti gambar tersebut dapat menghasilkan tegangan DC sebesar 40.129 volt dengan arus 0.373 ampere untuk perencanaan daya sebesar 450 VA.

Daya beban konverter 6 pulsa yang dihasilkan :

$$P_{load} = 6175W$$

Semakin besar daya beban maka akan semakin besar arus harmonisa yang akan dihasilkan dan besar daya beban bergantung pada pemakaian beban dari konverter 6 pulsanya.

Daya yang terpakai:

Besar daya yang terpakai adalah besarnya daya yang dapat diambil melalui filter pasif harmonisa ke-5 dan ke-7 yaitu besarnya daya pada sisi primer trafo yang digunakan sebagai komponen filter

- V_p dan P_p trafo harmonisa ke-5

$$V_p = I_5 \times X_L$$

$$V_p = \frac{2.8}{\sqrt{2}} \times 2 \times 3.14 \times 250 \times 14 \times 10^{-3}$$

$$V_p = 43.52V$$

$$P_p = V_p \times I_p$$

$$P_p = 43.52 \times \frac{2.8}{\sqrt{2}}$$

$$P_p = 86.19W$$

- V_p dan P_p trafo harmonisa ke-7

$$V_p = I_7 \times X_L$$

$$V_p = \frac{2.1}{\sqrt{2}} \times 2 \times 3.14 \times 350 \times 7.5 \times 10^{-3}$$

$$V_p = 24.48V$$

$$P_p = V_p \times I_p$$

$$P_p = 24.48 \times \frac{2.1}{\sqrt{2}}$$

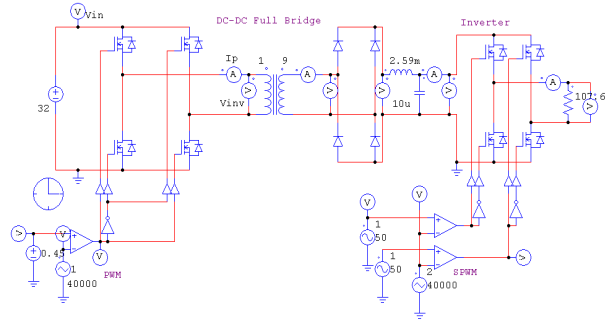
$$P_p = 36.35W$$

Jadi daya total disisi primer trafo sebesar 122.54 watt.

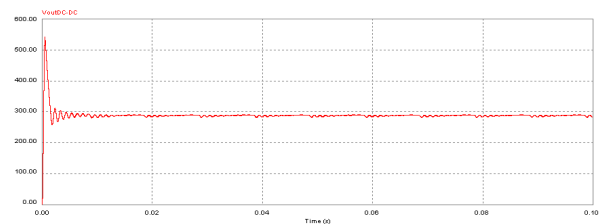
Berdasarkan perhitungan diatas prosentase daya yang bisa dimanfaatkan untuk kebutuhan energi alternatif adalah sebesar 1.985 % dari daya beban.

7.3. Simulasi Full Bridge DC-DC Converter dan inverter

Tegangan DC yang dihasilkan oleh trafo digunakan untuk mencharge accu. Kemudian accu dimanfaatkan untuk menghasilkan sumber energi 220 V 450 VA dengan menggunakan full bridge DC-DC converter dan inverter 1 fasa. Gambar 14 merupakan konfigurasi rangkaian full bridge dc-dc converter.



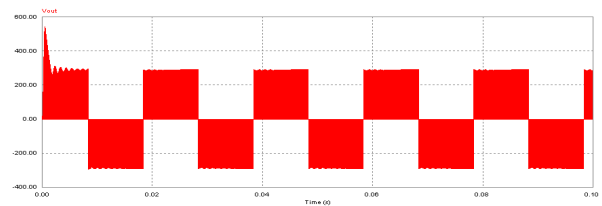
Gambar 14. Full bridge DC-DC converter dan inverter



$V_{out} = 289.9$ volt

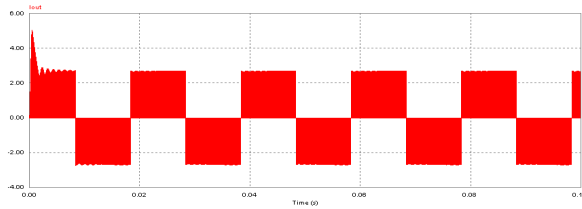
Gambar 15. Tegangan output full bridge DC-DC converter

Besar tegangan dan arus output sistem keseluruhan ditunjukkan pada Gambar 16 dan Gambar 17.



$V_{out} = 215.16$ volt

Gambar 16. Tegangan output inverter



$I_{out} = 1.999$ ampere

Gambar 17. Arus output inverter

5. KESIMPULAN

Berdasarkan simulasi yang telah dilakukan dapat diketahui bahwa penggunaan filter pasif dapat mengurangi THD pada harmonisa akibat beban non-linier yaitu rectifier 6 pulsa. THDi mengalami perubahan dari 25.24 % menjadi 4.95 %. Dengan melakukan tuning nilai C dan L dari nilai perhitungan, sehingga akan di dapat nilai THDi yang paling kecil dengan besar peredaman harmonisa mencapai 80.4%.

Selain itu dari hasil simulasi dapat diketahui bahwa filter pasif juga dapat digunakan sebagai penghasil sumber tenaga alternatif dengan tegangan sebesar 215.16 volt dengan arus 1.999 ampere (450 VA).

Prosentase daya yang bisa dimanfaatkan untuk kebutuhan energi alternatif adalah sebesar 1.985 % dari daya beban.

DAFTAR PUSTAKA

1. Huda, Choirul, *Pemanfaatan Harmonisa Sebagai Sumber Energi dengan Menggunakan Filter*, Tugas Akhir, Teknik Elektro Industri, PENS-ITS.
2. Putra, Anthony Santoso, *Pemanfaatan Harmonisa Sebagai Sumber Energi dengan Menggunakan Filter (Boost Converter dan Inverter 1 Phasa)*, Tugas Akhir, Teknik Elektro Industri, PENS-ITS.
3. Muhammad H. Rasyid, "Power electronic circuit. Devices and Applicatoins, second edition", Prentice-hall international, Inc, 1993.
4. Adhinata, Anizar "Filter Pasif paralel untuk meredam harmonisa akibat beban konverter 6 pulsa dengan meminimkan rugi-rugi (Penyearah dioda)" Surabaya 2005
5. Yahya Chusna arif, MT [1], Suryono, MT [2], Renny R, ST, MT [3], Novi Ayyub.W [4], Diktat KUALITAS DAYA, Politeknik elektronika negeri Surabaya.
6. MH Rashid, "Power Electronics Circuits, Devices, and Applications", 3rd Ed., Prentice Hall, 2004
7. Effendi, M. Zaenal, "DC to AC inverter", materi kuliah, 2009.
8. Professor Joseph Picone Mississippi State University design document for **12 VDC / 120 VAC POWER INVERTER** Mississippi State, Mississippi

9. Andres O. Ortiz, Filipe O. Quintaes, Manuel Guilhermino paper **VOLTAGE DC-DC PUSH-PULL CONVERTER USED FOR ALTERNATIVE ENERGY SOURCES** Universidade Federal do Rio Grande do Norte -UFRN- Campus Universitário. Brazil.