

PENGGUNAAN FILTER PASIF UNTUK MEREDUKSI HARMONISA AKIBAT PEMAKAIAN BEBAN NON LINEAR

Andrias Ade¹, Suryono², M. Zaenal Efendi³

¹Mahasiswa Jurusan Teknik Elektro Industri

²Dosen Jurusan Teknik Elektro Industri

³Dosen Jurusan Teknik Elektro Industri

Politeknik Elektronika Negeri Surabaya – Institut Teknologi Sepuluh November

Kampus ITS Sukolilo, Surabaya 60111

Email : Rhezaseepis@yahoo.com¹⁾

ABSTRAK

Rangkaian penyearah gelombang penuh tak terkontrol tiga fasa dan inverter tiga fasa menimbulkan harmonisa yang besar. Dengan timbulnya harmonisa pada sumber 3fasa tersebut maka dilakukan pengurangan spektrum harmonisa dengan cara pemasangan filter pasif menggunakan metode tuned filter pada frekuensi 250 Hz dan 350 Hz karena pada kedua frekuensi tersebut memiliki spektrum harmonisa yang paling dominan. Transformator di fungsikan sebagai induktor filter. Pada sisi sekunder transformator mengalir arus dalam bentuk sinyal AC yang kemudian disearahkan menggunakan rectifier 1fasa dan tegangan output hasil paralel rectifier 1fasa di atur dengan buck-boost converter untuk pengisian ke accu.

Dari hasil pengujian alat yang dibuat, hasilnya sudah mendekati hasil yang di harapkan yaitu dapat mereduksi harmonisa namun belum bisa sesuai standard yang ditetapkan dikarenakan kualitas dari komponen yang dipakai. THDi mengalami penurunan dari 20.71% menjadi 11.92% untuk penggunaan beban converter 6pulsa dan untuk penggunaan beban inverter 3fasa THDi mengalami penurunan dari 163.43% menjadi 62.32%. Selain itu daya pada travo filter juga dapat digunakan sebagai penghasil sumber DC.

Kata Kunci: konverter 6pulsa, inverter 3fasa, filter pasif, rectifier 1fasa, buck-boost 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 6pulsa 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.

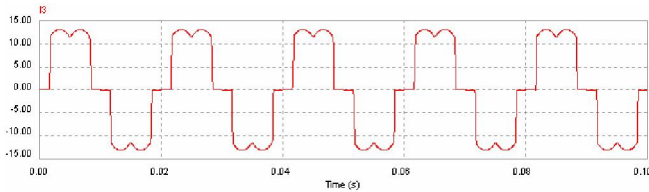
Berdasarkan kondisi demikian, maka dalam paper ini dilakukan pengembangan yaitu pengambilan dan pemanfaatan harmonisanya dilakukan pada harmonisa ke-5 dan ke-7 untuk penggunaan beban inverter tiga fasa, dengan memakai metode sedikit pergeseran frekuensi dan mencoba pemasangan capasitar secara delta connection. Selain itu mencoba menggunakan sumber 3fasa dan daya yang lebih besar supaya didapat pemanfaatan arus harmonisa yang lebih besar pula serta menggunakan buck-boost converter untuk mengatur tegangan output yang digunakan untuk mencharger accu. Dengan demikian diharapkan dapat memperoleh energy listrik secara 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

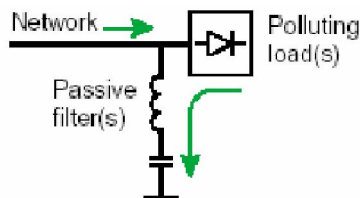
Komponen-komponen sistem tenaga listrik yang dapat menimbulkan arus harmonisa hendaknya perlu diperhatikan, dengan tujuan untuk memprediksi permasalahan yang diakibatkan oleh harmonisa, sehingga sudah dapat diperkirakan cara yang tepat untuk menekan kehadiran harmonisa tersebut, baik dengan cara memasang 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.



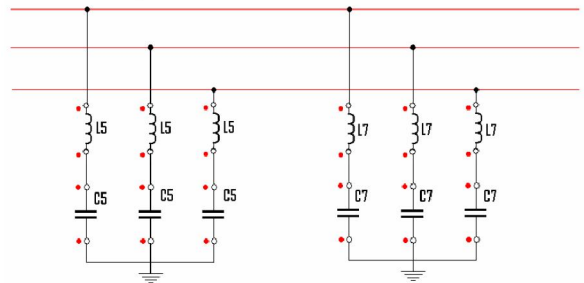
Gambar 2. Rangkaian Passive Filter dalam Sistem

Dari Gambar 2 filter pasif dipasang pada sisi sumber yang dipakai untuk melewati arus harmonisa agar tidak menuju ke sumber. Filter Pasif tersusun dari kapasitor dan induktor dengan satu frekuensi yang disetting pada frekuensi tegangan harmonisa yang akan dihilangkan.

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

Dimana:
 f_r = Frekuensi setting.
 L = Induktansi.
 C = Kapasitansi.

Dan pemasangan filter pasif seperti pada Gambar 3, terdapat dua filter (filter harmonisa ke-5 dan filter harmonisa ke-7).



Gambar 3. Rangkaian filter pasif untuk system 3fasa

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

3.2. Tujuan Filter Harmonisa

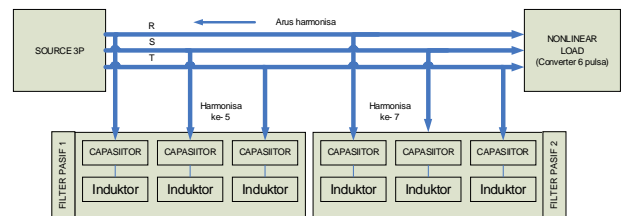
Fiter Pasif sebagai filter harmoisia berfungsi untuk mengurangi amplitude satu atau lebih frekuensi tertentu dari sebuah tegangan atau arus. Pada frekuensi fundamental dapat mengkompensasi daya reaktif dan memperbaiki faktor daya sistem

Pada paper ini filter pasif juga digunakan sebagai alat pengambilan harmonisa yang ditimbulkan oleh inverter tiga fasa yang pada nantinya dimanfaatkan sebagai sumber energi alternatif.

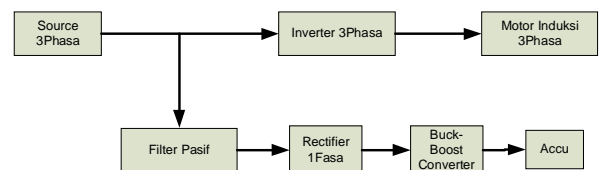
4. Perencanaan Sistem

4.1. Blok Diagram

Perancangan sistem secara keseluruhan dapat dijelaskan seperti blok diagram pada Gambar 4. Pemakaian beban non linear berupa konverter 6pulsa



Pemakaian beban non linear berupa inverter 3fasa



Gambar 4. Blok Diagram Sistem

4.2. 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 melewatkan arus harmonisa yang diinginkan dan tiga buah kapasitor filter yang dipasang dengan hubungan star dan delta.

Dalam pengambilan arus harmonisanya menggunakan metode sedikit pergeseran frekuensi, hal ini dimaksudkan untuk menghindari kemungkinan terjadinya resonansi pada sistem.

Desain Filter Pasif untuk beban converter 6pulsa

Load converter : 4buah lampu pijar 250W diparalel seri 4buah lampu pijar 250W diparalel

$$V_s/V_{LL} = 215V$$

$$V_{ph} = \frac{215}{\sqrt{3}} = 124.28V$$

$$I_s = 2.7A$$

$$P = 980W$$

$$PF1 = 0.96 \Rightarrow \theta_1 = 16.26^\circ$$

$$PF2 = 0.99 \Rightarrow \theta_2 = 8.11^\circ$$

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

$$Q_c = 980(\tan 16.26 - \tan 8.11)$$

$$Q_c = 980 \times (0.29 - 0.14)$$

$$Q_c = 147VAR$$

$$C_{star} = \frac{Q_c}{V_{ll}^2 \times \omega}$$

$$C = \frac{147}{215^2 \times 6.28 \times 50} = 10.13\mu F$$

$$L_n = \frac{1}{4\pi^2 F_n^2 C}$$

$$L_5 = \frac{1}{4 \times 3.14^2 \times 235^2 \times 10.13\mu} = 45.32mH$$

$$L_7 = \frac{1}{4 \times 3.14^2 \times 335^2 \times 10.13\mu} = 22.3mH$$

$$C_{delta} = \frac{10.13\mu}{3} = 3.4\mu F$$

Desain Filter Pasif untuk beban inverter 3fasa

Dari data pengukuran awal didapatkan hasil pengukuran parameter-parameter seperti di bawah ini

$$V = 366V$$

$$F = 49.8Hz$$

$$I = 2.05A$$

$$P = 0.62 kw$$

$$S = 1.3 kva$$

$$Q = 0.08kvar$$

$$PF = 0.47$$

$$DPF = 0.99$$

$$THD_v = 1.6\%$$

$$THD_i = 86.7\% THD-r$$

$$THD_i = 174.2\% THD-f$$

$$I_{load} = 0.5A$$

$$Rpm = 1479$$

$$V_s/V_{LL} = 366V$$

$$V_{ph} = \frac{366}{\sqrt{3}} = 211.56V$$

$$I_s = 2.05A$$

$$P = 620W$$

$$PF1 = 0.47 \Rightarrow \theta_1 = 61.96^\circ$$

$$PF2 = 0.9 \Rightarrow \theta_2 = 25.84^\circ$$

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

$$Q_c = 620(\tan 61.96 - \tan 25.84)$$

$$Q_c = 620 \times (1.878 - 0.484)$$

$$Q_c = 864.28VAR$$

$$C_{star} = \frac{Q_c}{V_{ll}^2 \times \omega}$$

$$C = \frac{864.28}{366^2 \times 6.28 \times 50} = 20.54\mu F$$

$$L_n = \frac{1}{4\pi^2 F_n^2 C}$$

$$L_5 = \frac{1}{4 \times 3.14^2 \times 235^2 \times 20.54\mu} = 22.35mH$$

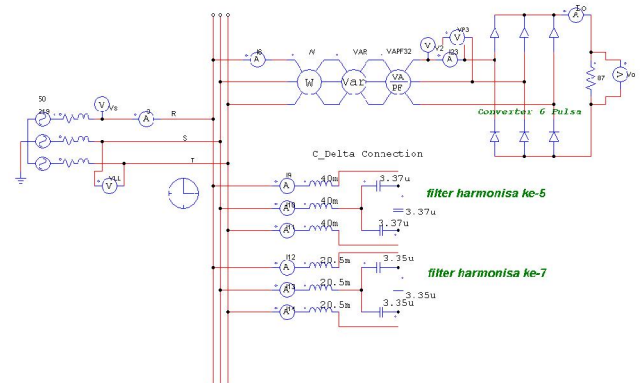
$$L_7 = \frac{1}{4 \times 3.14^2 \times 335^2 \times 20.54\mu} = 10.99mH$$

$$C_{delta} = \frac{20.54\mu}{3} = 6.8\mu F$$

5. Simulasi Sistem dan Analisa

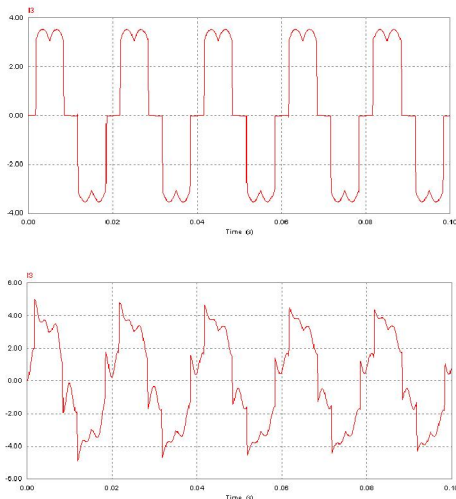
5.1 Simulasi Filter Pasif

Pemasangan filter pasif dilakukan dengan menggunakan hubungan delta seperti pada Gambar 5.



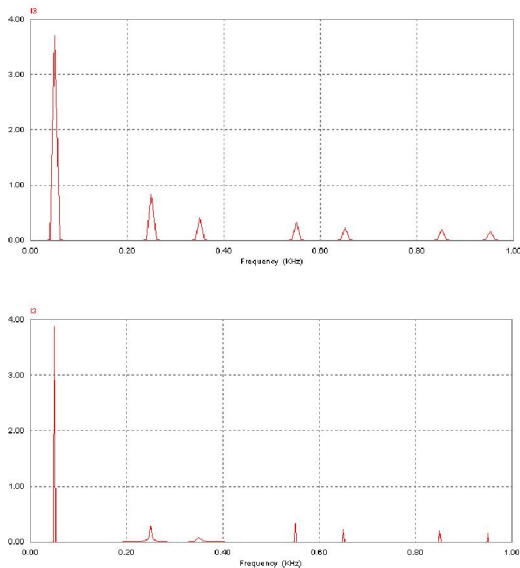
Gambar 5. Pemasangan filter pasif pada sistem

Pada Gambar 5 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 6. Gelombang arus sumber sebelum dan setelah filter

Pada Gambar 6 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 7. Spektrum arus sumber sebelum dan setelah filter

Pada Gambar 7 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.

Menghitung THDi pada converter 6 Pulsa dari simulasi

Tabel 1 Nilai arus sebelum pemasangan filter

Fundamental (A)	Harmonisa (A)			
	5	7	11	13
3.712	0.839	0.419		

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

$$THDi = \frac{\sqrt{\left(\frac{0.84}{\sqrt{2}}\right)^2 + \left(\frac{0.42}{\sqrt{2}}\right)^2}}{\frac{3.7}{\sqrt{2}}} \times 100\%$$

$$THDi = \frac{\sqrt{0.35 + 0.09}}{2.61} \times 100\%$$

$$THDi = 25.41\%$$

THDi setelah pemasangan filter

Menghitung THDi pada converter 6 Pulsa dari simulasi

Tabel 2 Nilai arus setelah pemasangan filter

Fundamental (A)	Harmonisa (A)			
	5	7	11	13
3.87	0.285	0.08		

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

$$THDi = \frac{\sqrt{\left(\frac{0.285}{\sqrt{2}}\right)^2 + \left(\frac{0.08}{\sqrt{2}}\right)^2}}{\frac{3.87}{\sqrt{2}}} \times 100\%$$

$$THDi = \frac{\sqrt{0.04 + 0.003}}{2.74} \times 100\%$$

$$THDi = 7.5\%$$

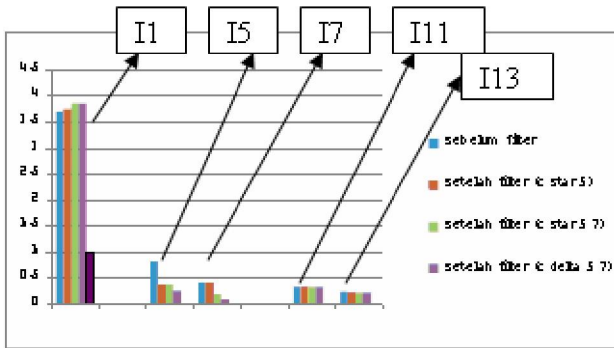
Dari perhitungan diatas dapat diketahui bahwa filter pasif yang dipasang dapat bekerja dengan baik, dimana pemasangan filter pasif harmonisa ke-5 dan ke-7 dapat menurunkan nilai THDi yang cukup besar yaitu dari 25.41% menjadi 7.5%.

Untuk selanjutnya dilakukan perbandingan sebelum dan setelah pemasangan filter pasif dengan mencoba mengubah-ubah penggunaan filter pasifnya, dan didapatkan data seperti pada Tabel 3

Tabel 3 Perbandingan nilai arus sebelum dan setelah pemasangan filter

Orde	I1	I3	I5	I7	I9	I11	I13
sebelum filter	3,712	0,0006	0,839	0,419	0,00055	0,33	0,237
setelah filter (c star 5)	3,75	0,0041	0,39	0,417	0,0013	0,331	0,235
setelah filter (c star 5 7)	3,87	0,0044	0,39	0,2	0,0028	0,328	0,23
setelah filter (c delta)	3,87	0,0048	0,28	0,08	0,0025	0,329	0,23

Sehingga dari Tabel 3 maka dapat dibuat grafiknya seperti pada Gambar 8

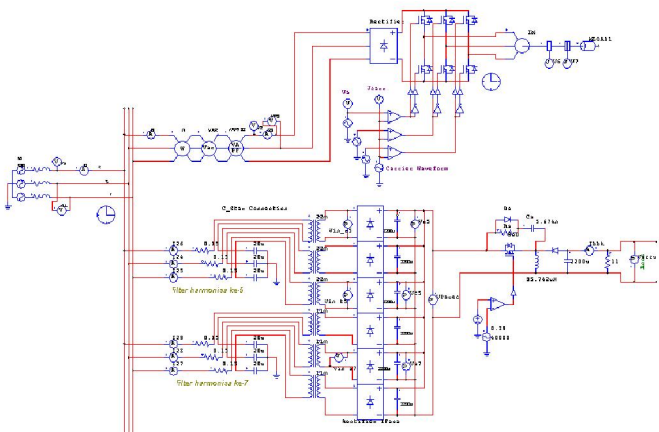


Gambar 8 Grafik Perbandingan nilai arus sebelum dan setelah pemasangan filter

Dari gambar grafik diatas dapat diketahui bahwa pemasangan filter pasif harmonisa ke-5 dan ke-7 dimana kapasitornya di pasang star mempunyai hasil yang lebih baik dari pada pemasangan filter pasif harmonisa ke-5 saja, dan akan didapatkan hasil yang lebih baik lagi jika kapasitor dipasang delta. Filter ini bekerja mereduksi harmonisa pada frekuensi yang di inginkan.

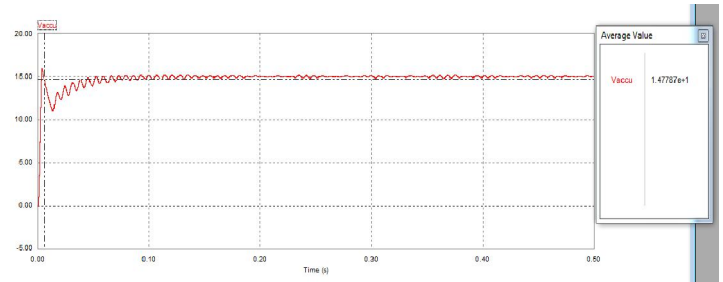
5.2 Simulasi Filter Harmonisa Sebagai Sumber DC

Pada bagian ini mencoba dilakukan simulasi secara keseluruhan yaitu mereduksi harmonisa dan kemudian dilakukan pemanfaatan. Perencanaannya seperti pada Gambar 9

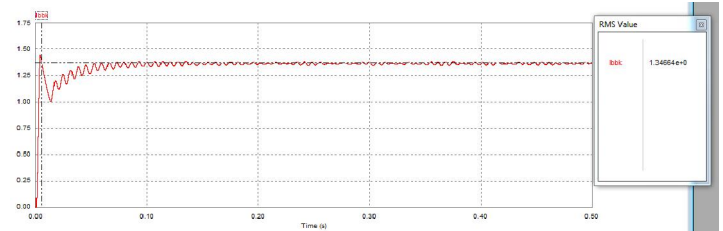


Gambar 9. Filter sebagai sumber DC

Besar tegangan output DC yang dihasilkan dapat dilihat pada Gambar 10.



Vout = 14.77 volt



Iout = 1.3 Ampere

Gambar 10. Tegangan output DC dan arus output DC

Dari hasil simulasi seperti pada Gambar 10 filter pasif digunakan untuk mengambil arus harmonisa yang kemudian dialirkan melalui sisi sekunder travo sebagai input dari rectifier 1fasa sehingga dihasilkan tegangan dan arus DC output buck-boost sebesar 14.77V 1.3A untuk pengisian ke accu.

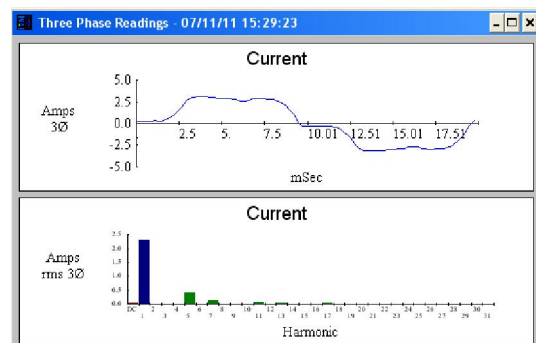
6. Pengujian Sistem dan Analisa

6.1. Beban non linear berupa konverter 6pulsa

6.1.1 Pengujian rangkaian sebelum dipasang filter

- Arus input sebelum dipasang filter

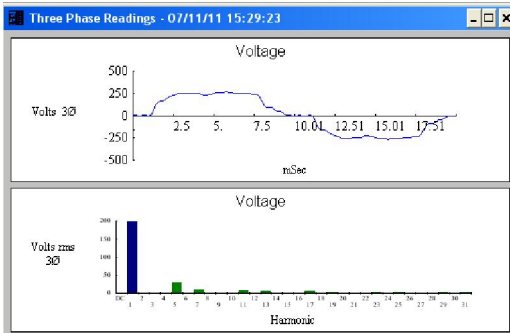
Bentuk gelombang arus input sebelum difilter mengalami distorsi seperti pada Gambar 11, hal ini bisa dilihat dari spektrum harmonisa pada harmonisa kelima sangat besar sehingga bentuk gelombang arus tidak sinusoidal lagi. Sedangkan untuk harmonisa ketujuh muncul lebih sedikit. Besar arus adalah 2.33A dengan THD arus sebesar 20.71%.



Gambar 11 Arus Input Sebelum Difilter

- Tegangan input sebelum dipasang filter

Bentuk gelombang tegangan input sebelum difilter seperti yang terlihat pada Gambar 12 juga mengalami distorsi cukup besar sehingga bentuknya tidak sinusoidal lagi hal ini terjadi karena penggunaan variac 3fasa sebagai penurun tegangan sumber. Besar nilai tegangan input adalah 199.7V dengan THD tegangan sebesar 16.93%



Gambar 12 Tegangan Input Sebelum Difilter

- Daya input sebelum dipasang filter

Besar daya input sebelum difilter adalah 770W. Untuk pengukuran parameter-parameter yang lebih lengkap dapat dilihat pada Gambar 13

Three Phase Readings - 07/11/11 15:29:23									
Summary Information				Voltage	Current	Record	Max	Average	Min
Frequency	49.97	RMS	199.7	2.33	V RMS				
Power	0.77	Peak	270.9	3.22	A RMS				
KVA	0.81	DC Offset	0.0	-0.05	V Peak				
KVAR	-0.11	Crest	1.36	1.38	A Peak				
Peak KW	*	THD Rms	16.69	20.28	V THD-R%				
Phase	8° lag	THD Fund	16.93	20.71	A THD-R%				
Total PF	0.96	HRMS	33.3	0.47	KWatts				
DPF	0.99	KFactor		2.41	KVA				
* Only Single Phase data available					TPF				
					DPF				
Harmonics	Freq.	V Mag	%V RMS	V θ°	I Mag	%I RMS	I θ°	Power (KW)	
DC	0.00	0.02	0.01	0	0.05	2.01	0	*	
1	49.97	196.89	98.57	0	2.28	97.91	-8	*	
2	99.94	0.16	0.08	54	0.01	0.27	-96	*	
3	149.90	0.36	0.18	0	0.02	0.80	57	*	
4	199.87	0.23	0.12	62	0.00	0.21	53	*	
5	249.84	27.84	13.94	-166	0.43	18.53	107	*	
6	299.81	0.09	0.05	61	0.00	0.05	-124	*	
7	349.78	11.47	5.74	179	0.16	6.99	86	*	

Three Phase Readings - 07/11/11 15:29:23									
Summary Information				Voltage	Current	Record	Max	Average	Min
Frequency	49.97	RMS	199.7	2.33	V RMS				
Power	0.77	Peak	270.9	3.22	A RMS				
KVA	0.81	DC Offset	0.0	-0.05	V Peak				
KVAR	-0.11	Crest	1.36	1.38	A Peak				
Peak KW	*	THD Rms	16.69	20.28	V THD-R%				
Phase	8° lag	THD Fund	16.93	20.71	A THD-R%				
Total PF	0.96	HRMS	33.3	0.47	KWatts				
DPF	0.99	KFactor		2.41	KVA				
* Only Single Phase data available					TPF				
					DPF				
Harmonics	Freq.	V Mag	%V RMS	V θ°	I Mag	%I RMS	I θ°	Power (KW)	
5	249.84	27.84	13.94	-166	0.43	18.53	107	*	
6	299.81	0.09	0.05	61	0.00	0.05	-124	*	
7	349.78	11.47	5.74	179	0.16	6.99	86	*	
8	399.74	0.11	0.05	51	0.00	0.11	-4	*	
9	449.71	0.73	0.37	-137	0.00	0.11	-136	*	
10	499.68	0.13	0.06	4	0.00	0.13	141	*	
11	549.65	9.41	4.71	82	0.08	3.37	164	*	
12	599.62	0.02	0.01	46	0.00	0.05	76	*	

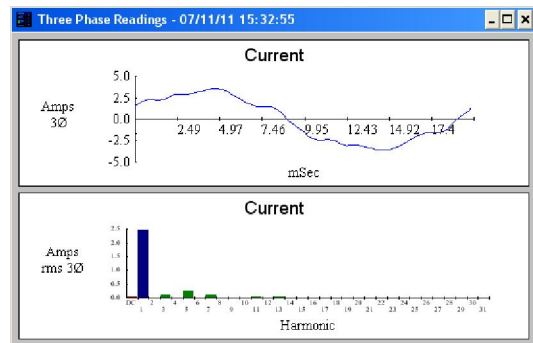
Gambar 13 Daya Input Sebelum Difilter

6.1.2 Pengujian rangkaian setelah dipasang filter

Setelah dilakukan perbaikan L kembali, kemudian dilakukan pengujian lagi. Pada pengujian ini filter pasif harmonisa dipasang disisi sumber atau dipasang sebelum konverter 6pulsa dengan tujuan untuk meredam arus harmonisanya.

- Arus input setelah dipasang filter

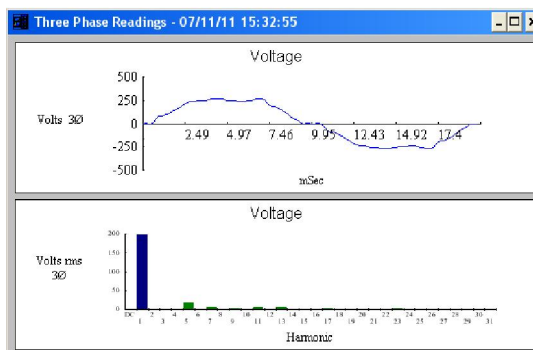
Bentuk gelombang dan spektrum arus setelah difilter dapat dilihat pada Gambar 14, spektrum harmonisa pada harmonisa kelima dan ketujuh menjadi lebih berkurang, sehingga bentuk gelombang arus menjadi lebih mendekati bentuk sinusoidal. Besar arus 2.50A dengan THD arus sebesar 11.92%.



Gambar 14 Arus Input Setelah Difilter

- Tegangan input setelah dipasang filter

Gelombang dan spektrum tegangan input setelah difilter dapat dilihat pada Gambar 15 dimana bentuk gelombang menjadi lebih sinusoidal, hal ini bisa dilihat dari bentuk spektrum pada harmonisa ke-5 dan ke-7 yang mengalami penurunan. Besar nilai tegangan input adalah 200V dengan THD tegangan sebesar 11.45%



Gambar 15 Tegangan Input Setelah Difilter

- Daya input setelah dipasang filter

Besar daya input setelah difilter adalah 800W. Untuk pengukuran parameter-parameter yang lebih lengkap dapat dilihat pada Gambar 16

Three Phase Readings - 07/11/11 15:32:55									
Summary Information			Voltage		Current		Record		
Frequency	50.28	RMS	200.0	2.50	V RMS				
Power	0.80	Peak	280.7	3.66	A RMS				
KW	0.87	DC Offset	-0.1	-0.05	V Peak				
KVA	0.29	Crest	1.4	1.46	A Peak				
Peak KW	*	THD Rms	11.38	11.84	V THD-R%				
Phase	20° lead	THD Fund	11.45	11.92	A THD-R%				
Total PF	0.92	HRMS	22.8	0.30	KWatts				
DPF	0.94	KFactor		1.49	KVA				
* Only Single Phase data available					TPF				
					DPF				
					Frequency				
Harmonics	Freq.	V Mag	%V RMS	V Ø*	I Mag	%I RMS	I Ø*	Power (KW)	
DC	0.00	0.08	0.04	0	0.05	2.10	0	*	
1	50.28	198.75	99.35	0	2.48	99.28	20	*	
2	100.55	0.39	0.20	119	0.00	0.20	-141	*	
3	150.83	1.05	0.52	111	0.10	3.95	71	*	
4	201.10	0.11	0.05	99	0.00	0.20	129	*	
5	251.38	19.38	9.69	169	0.24	9.69	41	*	
6	301.65	0.11	0.05	77	0.00	0.12	-124	*	

Three Phase Readings - 07/11/11 15:32:55									
Summary Information			Voltage		Current		Record		
Frequency	50.28	RMS	200.0	2.50	V RMS				
Power	0.80	Peak	280.7	3.66	A RMS				
KW	0.87	DC Offset	-0.1	-0.05	V Peak				
KVA	0.29	Crest	1.4	1.46	A Peak				
Peak KW	*	THD Rms	11.38	11.84	V THD-R%				
Phase	20° lead	THD Fund	11.45	11.92	A THD-R%				
Total PF	0.92	HRMS	22.8	0.30	KWatts				
DPF	0.94	KFactor		1.49	KVA				
* Only Single Phase data available					TPF				
					DPF				
					Frequency				
Harmonics	Freq.	V Mag	%V RMS	V Ø*	I Mag	%I RMS	I Ø*	Power (KW)	
5	251.38	19.38	9.69	169	0.24	9.69	41	*	
6	301.65	0.11	0.05	77	0.00	0.12	-124	*	
7	351.93	6.88	3.44	-132	0.12	4.62	129	*	
8	402.20	0.13	0.06	69	0.00	0.12	80	*	
9	452.48	2.23	1.12	116	0.01	0.55	3	*	
10	502.75	0.05	0.02	10	0.00	0.07	-108	*	
11	553.03	6.14	3.07	-148	0.06	2.42	-46	*	

Gambar 16 Daya Input Setelah Difilter

- Dari data pengujian rangkaian setelah dipasang filter pasif menggunakan power harmonic analyzer terjadi peredaman harmonisa arus (THDi) sebesar :

$$\% \text{peredaman} = \frac{\text{THDi}(\text{sebelum}) - \text{THDi}(\text{setelah})}{\text{THDi}(\text{sebelum})} \times 100\%$$

$$\% \text{peredaman} = \frac{20.71 - 11.92}{20.71} \times 100\%$$

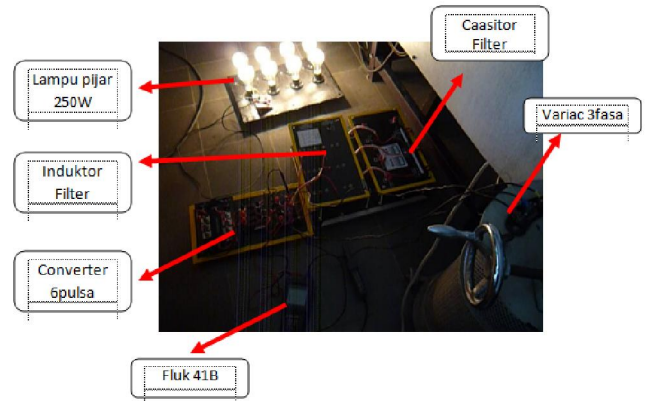
$$\% \text{peredaman} = 42.44\%$$

- Dari data pengujian rangkaian setelah dipasang filter pasif menggunakan power harmonic analyzer terjadi peredaman harmonisa tegangan (THDv) sebesar :

$$\% \text{peredaman} = \frac{\text{THDv}(\text{sebelum}) - \text{THDv}(\text{setelah})}{\text{THDv}(\text{sebelum})} \times 100\%$$

$$\% \text{peredaman} = \frac{16.93 - 11.45}{16.93} \times 100\%$$

$$\% \text{peredaman} = 32.37\%$$

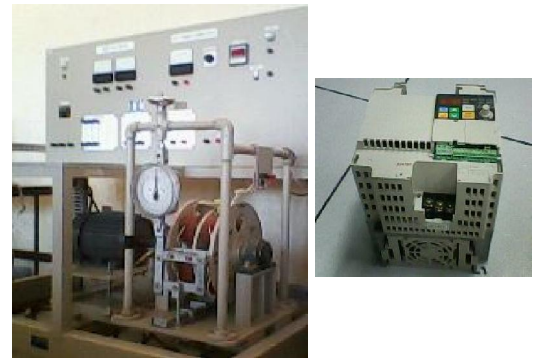


Gambar 17 Rangkaian filter L dan C untuk beban converter pulsa yang dibuat

6.2. Beban non linear berupa inverter 3fase

6.2.1 Pengujian rangkaian sebelum dipasang filter

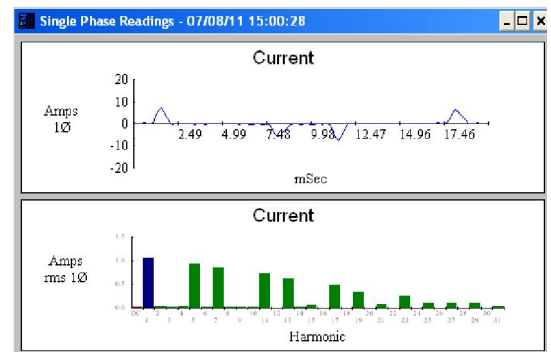
Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui tingkat kandungan harmonisa akibat pemakaian beban non linear inverter 3fase untuk menggerakkan motor induksi 3fase seperti yang terlihat pada Gambar 18



Gambar 18 Panel Pengaturan Putaran Motor Induksi 3fase dengan Menggunakan Inverter 3 Ph omron SysDrive.3G3JV

- Arus input sebelum dipasang filter

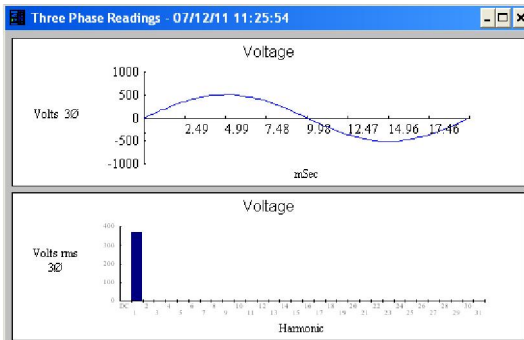
Arus input sebelum difilter besarnya adalah 2.07A dengan THD arus sebesar THDi-R=85.3% dan THDi-F=163.43% seperti yang ditampilkan pada Gambar 19



Gambar 19 Arus Input dan THDi Sebelum Difilter

- Tegangan input sebelum dipasang filter

Gelombang tegangan input sebelum difilter bentuknya sinusoidal (Gambar 4.24). Besar nilai tegangan input adalah 370V. THD tegangan sebesar THD_v=1.3% seperti yang ditampilkan pada Gambar 20



Gambar 20 Tegangan Input Sebelum Difilter

- Daya input sebelum dipasang filter

Besar daya input sebelum difilter adalah 0.75KW. Untuk pengukuran parameter-parameter yang lebih lengkap dapat dilihat pada Tabel 3

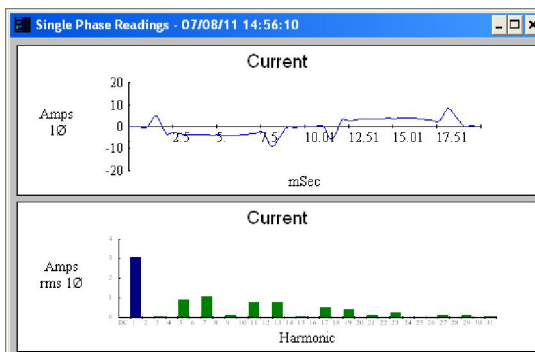
Tabel 3 Daya Input Sebelum Difilter

	Voltage	Current
RMS	370.3	2.07
Peak	528.2	7.25
Crest	1.43	3.5
THD Rms	1.16	85.3
THD Fund	1.16	163.43

6.2.2 Pengujian rangkaian setelah dipasang filter

- Arus input setelah dipasang filter

Arus input setelah dipasang filter besarnya adalah 3.66A dengan THD arus sebesar THD_i-R=52.89% dan THD_i-F=62.32% seperti yang ditampilkan pada Gambar 16



Gambar 21 Arus Input dan THDi Setelah Difilter

- Daya input setelah dipasang filter

Besar daya input setelah difilter adalah 0.75KW. Untuk pengukuran parameter-parameter yang lebih lengkap dapat dilihat pada Tabel 4

Tabel 4 Daya Input Setelah Difilter

	Voltage	Current
RMS	368.8	3.66
Peak	525.2	8.96
Crest	1.42	2.45
THD Rms	1.1	52.89
THD Fund	1.1	62.32

Membandingkan hasil peredaman harmonisa bila memasang hanya satu buah filter saja dengan memasang kedua filter sekaligus dapat dilihat pada data pengujian dibawah ini

Pengujian 1

Sebelum pemasangan Filter
 V = 370V
 THDi (THD-R) = 87.8%
 THDi (THD-F) = 183.2%

Setelah pemasangan Filter ke-5

V = 370V
 THDi (THD-R) = 75.2%
 THDi (THD-F) = 115.6%

Setelah pemasangan Filter ke-7

V = 370V
 THDi (THD-R) = 73.2%
 THDi (THD-F) = 108.5%

Pengujian 2

Sebelum pemasangan Filter
 V = 369V
 THD_v = 1.4%
 I = 4.1A
 THDi (THD-R) = 89.7%
 THDi (THD-F) = 202.5%

Setelah pemasangan Filter ke-5 dan ke-7

V = 372V
 THD_v = 1.4%
 I = 5.4A
 THDi (THD-R) = 64.4%
 THDi (THD-F) = 84.3%

Dari hasil pengujian yang dilakukan dapat diketahui bahwa dengan pemasangan dua filter sekaligus dapat mereduksi harmonisa yang lebih besar dari pada hanya pemasangan satu filter saja.

- Dari data pengujian rangkaian setelah dipasang filter pasif menggunakan power harmonic analyzer terjadi peredaman harmonisa arus (THD-i) sebesar :

$$\% \text{peredaman}(THD - R) = \frac{THDi(\text{sebelum}) - THDi(\text{setelah})}{THDi(\text{sebelum})} \times 100\%$$

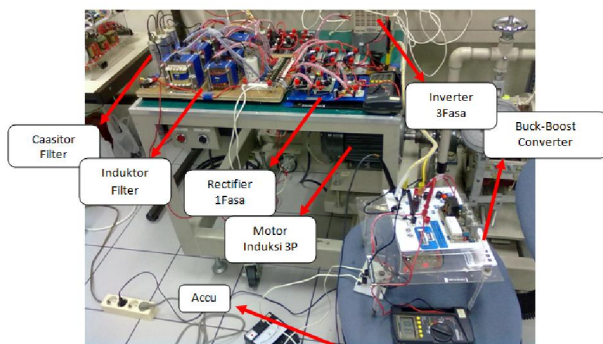
$$\% \text{peredaman}(THD - R) = \frac{85.3 - 52.89}{85.3} \times 100\%$$

$$\% \text{peredaman}(THD - R) = 37.99\%$$

$$\% \text{peredaman}(THD - F) = \frac{THDi(\text{sebelum}) - THDi(\text{setelah})}{THDi(\text{sebelum})} \times 100\%$$

$$\% \text{peredaman}(THD - F) = \frac{163.43 - 62.32}{163.43} \times 100\%$$

$$\% \text{peredaman}(THD - F) = 61.87\%$$



Gambar 22 Rangkaian filter L dan C untuk beban inverter 3fasa yang dibuat

6.3 Pengujian pemanfaatan harmonisa

Setelah melakukan pengujian filter pasif dan sudah dapat mereduksi harmonisa arus maupun harmonisa tegangan maka untuk selanjutnya dilakukan pemanfaatan harmonisa tersebut dengan cara menjadikan induktor filter menjadi sebuah transformator, yaitu dengan memberi belitan pada sisi sekunder. Sehingga dengan tidak mengubah nilai induktansi pada belitan primer diharapkan filter dapat bekerja sebagaimana sebelumnya. Dengan demikian akan di induksikan tegangan dari belitan primer ke belitan sekunder dan didapat tegangan sekunder sebagai inputan ke penyearah satu fasa. Selanjutnya memparalel tegangan output penyearah satu fasa tersebut dengan tujuan mendapatkan daya dan arus yang lebih besar. Dan hasil paralel tegangan output penyearah satu fasa tersebut di masukkan ke buck-boost converter untuk mendapatkan tegangan dc sesuai harapan untuk pengisian accu.

6.3.1 Pengujian rectifier satu fasa

Pengukuran tegangan input rectifier dan tegangan outputnya dapat dilihat pada Tabel 5. Output rectifier dari tiap-tiap fasa di rangkai secara paralel sebagai inputan ke buck-boost untuk mengecas accu seperti yang terlihat pada Gambar 23



Gambar 23 Rangkaian Rectifier 1Fasa

Tabel 5 Pengukuran Vin dan Vout rectifier

Rectifier ke-	Vsekunder/Vin rec (Vac)	Vout rec (Vdc)	Vout paralel rec R5-T7(Vdc)
R5	18.7	45	46.8
S5	22.9	44	46.8
T5	25.1	48	46.8
R7	24.2	53	46.8
S7	20.9	42	46.8
T7	22.3	48	46.8

Besar tegangan sekunder dari tiap-tiap transformator yang dibuat nilainya berkisar antara 19V-25V seperti yang terlihat pada salah satu pengukuran pada salah satu fasa yang tampak pada Gambar 24



Gambar 24 Tegangan Input Rectifier atau Tegangan Sekunder Travo (Vac)

Dan besar tegangan output dari rectifier yang dipasang paralel hasilnya lebih kecil dari pada tegangan output dari tiap-tiap rectifier semula, besar tegangan output hasil paralel rectifier ditunjukkan pada Gambar 25



Gambar 25 Tegangan Output Paralel Rectifier atau Vin Buck-Boost (Vdc)

6.3.2 Pengujian buck-boost converter

Dengan permasalahan input dari rectifier satu fasa yang terkadang berubah maka dibutuhkan suatu rangkaian dan control yang mampu menghasilkan tegangan output yang stabil. Kontrol *duty cycle* PWM pada buck boost konverter

adalah salah satu metode yang dapat digunakan untuk pengaturan tegangan output untuk pengisian accu. Buck-boost yang digunakan dapat dilihat pada Gambar 26



Gambar 26 Rangkaian Buck-Boost Converter

Buck-boost converter digunakan untuk menaikkan turunkan tegangan input agar tegangan output dapat diatur pada nilai tertentu. Penggunaan Buck-boost converter ini karena tegangan output dari rectifier satu fasa belum sesuai yang diharapkan dan terkadang berubah berdasarkan perubahan kinerja filter pasif untuk mereduksi harmonisa. Tegangan output dan arus output untuk pengisian accu dapat dilihat pada Tabel 6

Tabel 6 Pengukuran V_{in} dan V_{out} Buck-Boost

V_{in} (Vdc)	V_{out} (Vdc)	I_{out} (A)
17.16	13.43	1.5
20.07	13.12	1.2

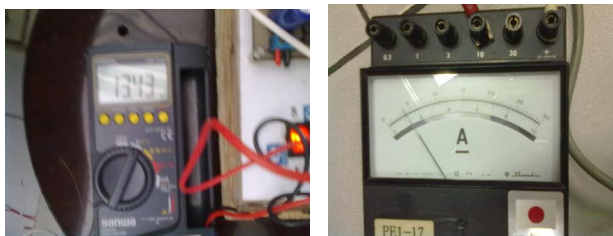
6.3.3 Hasil pengisian accu

Besar tegangan dan arus untuk pengisian accu 12V 10AH di dapat dari pengaturan tegangan output pada buck-boost converter. Besar tegangan dan arus yang dihasilkan adalah

$$V = 13-14V$$

$$I = 1.2-1.5A$$

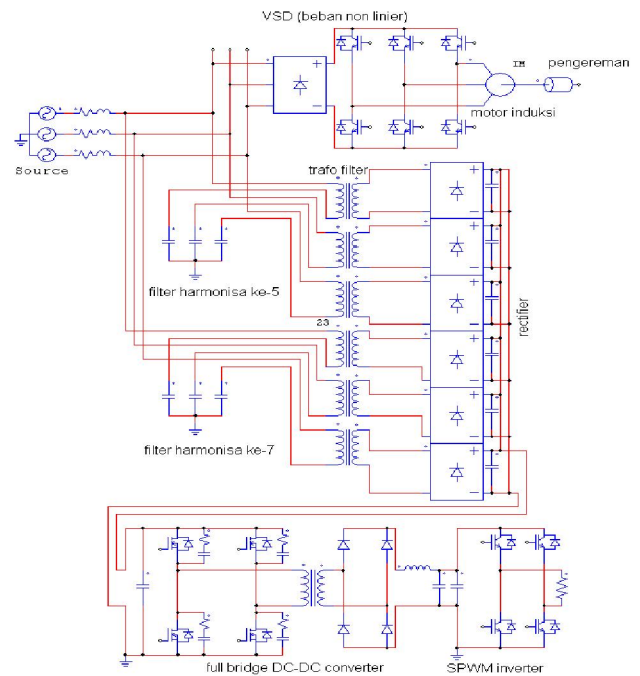
Hasil di atas dapat dilihat pada Gambar 27



Gambar 27 V_{out} dan I_{out} Buck-Boost untuk charger accu

6.3.4 Integrasi keseluruhan sistem sampai ke pemanfaatan harmonisa (TA sdr Sigit Prasetya) Pengamatan daya

Pada pengujian kali ini, dilakukan penggabungan dua sistem, yaitu sistem pengambil harmonisa dimana filter sebagai sumber DC dan sistem pengguna dimana full bridge DC-DC converter sebagai step up DC untuk menghasilkan tegangan AC 220 volt. Gambar 28 merupakan integrasi keseluruhan sistem.



Gambar 28 Integrasi keseluruhan sistem

Pada pengujian keseluruhan sistem ini menggunakan variasi beban lampu (220 V/5 watt) dan kipas angin (220 V/20watt). Tabel 7 merupakan hasil dari integrasi keseluruhan sistem.

Tabel 7 Hasil integrasi keseluruhan system

Beban	V_{in} (V-dc)	I_{in} (A)	V_{o-FBC} (Vdc)	I_{dc} (A)	V_{o-Inv} (V-ac)	I_{ac} (A)
Kipas angin	21.32	1.2	210.2	0.25	147.3	0.1
Lampu pijar	22.6	0.75	226.9	0.2	159.9	0.15
Kipas+ Lampu	20.14	1.2	200.5	0.8	135.9	0.12

Pada Tabel 7 dapat dihitung daya maksimum yang bisa dimanfaatkan dari trafo filter. Perhitungan daya bebannya adalah sebagai berikut:

1. Beban Kipas

$$P_{out} = V \times I = 147.3 \times 0.1 = 14.73 \text{ watt}$$

2. Beban Lampu

$$P_{out} = V \times I = 159.9 \times 0.15 = 23.99 \text{ watt}$$

3. Beban Kipas+Lampu

$$P_{out} = V \times I = 135.9 \times 0.12 = 16.31 \text{ watt}$$

4. Rata-rata daya

$$P_{out - rata - rata} = \frac{P1 + P2 + P3}{3}$$

$$P_{out-rata_rata} = \frac{14.73 + 23.99 + 16.31}{3}$$

$$P_{out-rata_rata} = 18.34W$$

Pada saat sebelum diberi beban, trafo filter mampu menghasilkan tegangan DC sebesar 46.8 volt. Pada saat setelah dipasang rangkaian pemanfaatan (full bridge DC-DC converter) tegangan trafo filter menjadi 21.32 volt. Hal ini menunjukkan bahwa daya yang dapat dimanfaatkan adalah terbatas.

Berdasarkan perhitungan daya diatas daya yang dapat dimanfaatkan sekitar 18.34 watt. Hal ini disebabkan karena arus yang diambil oleh trafo filter adalah kecil.

7. KESIMPULAN

Untuk pemakaian beban non linear konverter 6pulsa, sebelum difilter THD arus input sebesar 20.71% dan THD tegangan sebesar 16.93%. Sedangkan setelah difilter , THD arus input sebesar 11.92% dan THD tegangan sebesar 11.45%. Untuk pemakaian beban non linear inverter 3fasa, sebelum difilter THD arus input sebesar 163.43% dan THD tegangan sebesar 1.2%. Sedangkan setelah difilter, THD arus input sebesar 62.32% dan THD tegangan sebesar 1.1%. Dengan mereduksi harmonisa kelima dan ketujuh dapat memperbaiki bentuk gelombang arus, sehingga dapat memperkecil harmonisa.

DAFTAR PUSTAKA

1. Huda, Choirul, *Pemanfaatan Harmonisa Sebagai Sumber Energi dengan Menggunakan Filter*, Tugas Akhir, Teknik Elektro Industri, PENS-ITS.
2. Faizzin, Muhammad, *Filter Pasif Untuk M ereduksi Harmonisa ke-5 dan ke-7*, Tugas Akhir, Teknik Elektro Industri, PENS-ITS.
3. Putra, Anthony Santoso, *Pemanfaatan Harmonisa Sebagai Sumber Energi dengan Menggunakan Filter (Boost Converter dan Inverter 1 Fasa)*, Tugas Akhir, Teknik Elektro Industri, PENS-ITS.
4. Muhammad H. Rasyid, "Power electronic circuit. Devices and Applicatoins, second edition", Prentice-hall international, Inc, 1993.
5. Adhinata, Anizar "Filter Pasif paralel untuk meredam harmonisa akibat beban konverter 6 pulsa dengan meminimkan rugi-rugi (Penyearah dioda)" Surabaya 2005
6. Yahya Chusna arif, MT [1], Suryono, MT [2], Renny R, ST, MT [3], Novi Ayyub.W [4], Diktat KUALITAS DAYA, Politeknik elektronika negeri Surabaya.
7. MH Rashid, "Power Electronics Circuits, Devices, and Applications", 3rd Ed., Prentice Hall, 2004
8. M. Zaenal Effendi, "Desain Transformator Frekwensi Rendah (50 Hz)",Desain Komponen Magenetik 2007.

9. Kinanta S., "Perbaikan Kualitas Daya pada Penyearah Terkontrol Tiga Fasa dengan menggunakan Injeksi Harmonisa Ketiga berbasis PI Kontroller (sub judul: Injeksi Harmonisa)", Tugas Akhir, Teknik Elektro Industri, PENS-ITS 2004.