

Desain dan Implementasi AC-DC Double Series Flyback Power Factor Correction (PFC) Converter

Moh. Zaenal Efendi, Novie Ayub W, dan Hary Oktavianto

Abstrak—Paper ini mengajukan desain dan implementasi suatu kombinasi baru konverter ac-dc dengan perbaikan faktor daya dua tingkat yang menggunakan rangkaian seri dua konverter flyback (*AC-DC Double Series Flyback PFC Converter*). Konverter flyback pertama berfungsi sebagai perbaikan faktor daya diseri dengan konverter flyback kedua yang berfungsi sebagai regulator dc. Konverter ini didesain mempunyai tegangan output 15 Volt. Dari hasil simulasi dan eksperimen, konverter ini dapat memenuhi standar harmonisa internasional IEC1000-3-2 dan mempunyai faktor daya mendekati satu.

Kata Kunci—PFC Converter, konverter flyback, IEC1000-3-2

1 PENDAHULUAN

S AAT ini semua peralatan elektronik seperti komputer, notebook, televisi, printer, alat-alat telekomunikasi dan lain-lain membutuhkan pencatu daya (*power supply*) yang didapat dari konverter ac-dc dari rangkaian penyearah dioda. Dalam suatu rangkaian penyearah, setelah dioda penyearah digunakan kapasitor sebagai filter. Tetapi penggunaan filter ini menyebabkan arus jaringan input berbentuk pulsa yang mengandung harmonisa yang besar dan faktor daya kecil. Untuk mereduksi harmonisa yang tinggi dari rangkaian penyearah diatas, maka perlu dikembangkan suatu rangkaian penyearah yang mempunyai kualitas yang tinggi dan memenuhi standar tertentu. Beberapa standar internasional yang berkaitan dengan harmonisa untuk pencatu daya telah dipublikasikan. Salah satu standar internasional yang terkenal adalah *International Electrotechnical Commission IEC 1000-3-2*.

- Moh. Zaenal Efendi, Jurusan Teknik Elektro Industri, Politeknik Elektronika Negeri Surabaya, Jl. Raya ITS Keputih Sukolilo, Telp: 031-5947280. E-mail: zen@eepis-its.edu.
- Novie Ayub W dan Hary Oktavianto, Jurusan Teknik Elektro Industri dan Jurusan Elektro, Politeknik Elektronika Negeri Surabaya, Jl. Raya ITS Keputih Sukolilo, Telp: 031-5947280. Email: ayub@eepis-its.edu, hary@eepis-its.edu

Dari latar belakang inilah, penelitian tentang pencatu daya umumnya dan konverter ac-dc dengan perbaikan faktor daya khususnya menjadi isu dan topik yang sangat menarik. Para peneliti berpacu untuk mengembangkan jenis konverter ini agar mempunyai performansi yang baik dan handal, seperti faktor daya yang tinggi mendekati satu, arus input berbentuk sinus dengan harmonisa yang rendah (memenuhi standar internasional, khususnya IEC1000-3-2), efisiensi yang tinggi dan riak/ripple tegangan output yang sangat rendah.

Untuk mereduksi harmonisa yang tinggi dari konverter ac-dc yang menggunakan rangkaian penyearah dioda dapat dilakukan beberapa metode, antara lain dengan menambah filter induktor yang cukup besar [1], tetapi metode ini tidak disukai karena penyearah menjadi lebih berat dan besar (bekerja pada frekwensi rendah sekitar 50Hz-60Hz). Metode yang lain adalah dengan menambah pra regulator (*High Power Factor Pre-Regulator*) untuk memperbaiki power faktor dan membentuk arus input berbentuk sinus. Beberapa konverter dapat digunakan sebagai PFC yaitu konverter boost, buck dan *buck-boost*. Konverter *PFC boost* [2],[3] sangat terkenal dan paling banyak dipakai karena mampu mendapat faktor daya

mendekati satu. Konverter buck [4] juga bisa digunakan, meskipun hasilnya tidak terlalu sempurna. Konverter *buck-boost* juga bisa digunakan memperbaiki faktor daya dan mengurangi harmonisa arus input [5]. Dari beberapa konverter PFC tersebut dapat dikombinasikan dengan konverter dc-dc membentuk satu kesatuan yang disebut Konverter Perbaikan Faktor Daya Dua Tingkat (*Two Stage PFC Converter*). Beberapa kombinasi konverter ac-dc dengan perbaikan faktor daya telah banyak diteliti diantaranya kombinasi konverter *buck* dan *boost* [6] dan konverter *buck-flyback* [7] yang menghasilkan performansi cukup baik.

Pada paper ini diajukan dan dikembangkan kombinasi baru konverter AC-DC yang mempunyai sifat perbaikan faktor daya dengan cara merangkai secara seri dua buah konverter flyback yang dinamakan *AC-DC Double Series Flyback Power Factor Correction (PFC) Converter*. Blok diagram konverter ini terlihat pada Gambar 1.



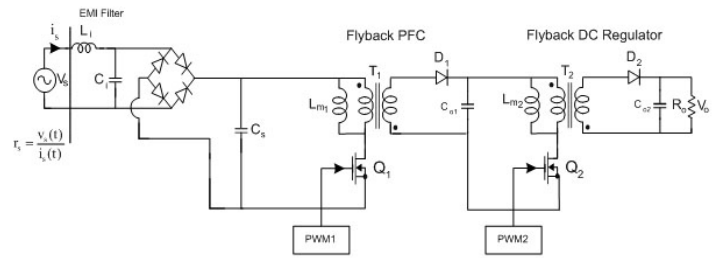
Gambar 1. Blok diagram konverter AC-DC dengan rangkaian seri dua konverter flyback

Konverter *flyback* yang pertama berfungsi sebagai pra-regulator (PFC Converter) dan yang kedua sebagai konverter regulator dc. Dipilih konverter jenis flyback ini karena sangat sederhana dan pengaturannya yang cukup mudah. Beberapa konverter dengan perbaikan daya sebelumnya telah diajukan dan diteliti [8],[9],[10],[11]. Sehingga diharapkan konverter yang dikembangkan ini mempunyai performansi yang lebih baik dari sebelumnya.

2 PRINSIP KERJA RANGKAIAN

Konfigurasi ini merangkai 2 buah konverter *flyback* yang berfungsi sebagai perbaikan faktor daya dan regulator dc dalam dua tingkat yang diberi nama *AC-DC Double Series Flyback PFC Converter* seperti terlihat pada Gambar 2.

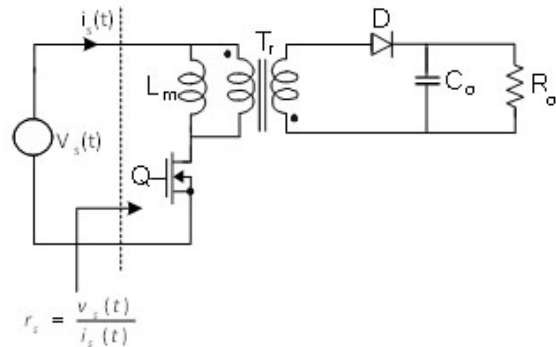
Rangkaian ini terdiri dari 2 konverter *flyback* yang dirangkai secara seri. Konverter *flyback*



Gambar 2. Rangkaian AC-DC double Series flyback PFC converter

yang pertama (dengan transformator T1) difungsikan sebagai konverter perbaikan daya alami (*natural rectifier*) yang bekerja pada konduksi tidak kontinyu, karena bila suatu konverter bekerja pada konduksi tidak kontinyu maka dapat dicapai faktor daya yang baik.

Konverter *flyback* seperti Gambar 3 bekerja pada konduksi tidak kontinyu dan mempunyai bentuk gelombang arus input dan arus induktor magnetisasi seperti pada Gambar 4. Konverter ini dimodelkan mempunyai resistansi input (r_s) yang dihitung dari tegangan input dan arus input pada satu periode *switching*.



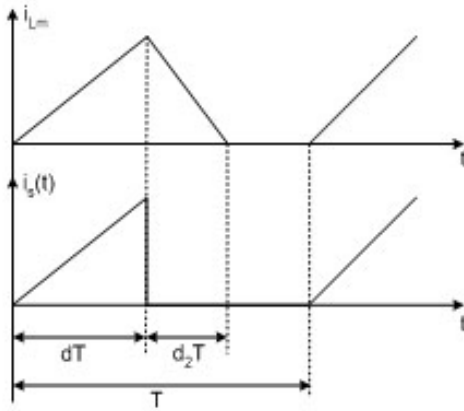
Gambar 3. Konverter flyback pada konduksi tidak kontinyu[13]

Resistansi input dapat dihitung sebagai berikut :

$$r_s(t) = \frac{v_s(t)}{i_s(t)} \tag{1}$$

Dari Gambar 4 dapat ditentukan arus input sebagai berikut:

$$i_s(t) = \frac{1}{2} t_{lm} \frac{DT}{T} \tag{2}$$



Gambar 4. Bentuk gelombang pada operasi konduksi tidak kontinyu

Arus induktor magnetisasi i_{Lm} adalah :

$$i_{LM} = \frac{v_s(t)DT}{L_m} \tag{3}$$

Dan kemudian persamaan 3 disubstitusikan ke persamaan 2, maka arus input menjadi:

$$i_s(t) = \frac{v_s(t)DT}{T} = \frac{v_s(t)D^2T}{2L_M} \tag{4}$$

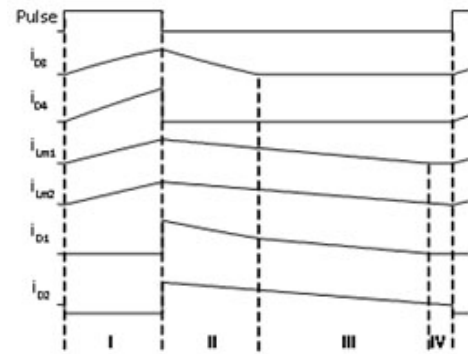
Persamaan 4 kemudian disubstitusi ke persamaan 1 menghasilkan resistansi input sebagai berikut :

$$r_s(t) = \frac{v_s(t)}{i_s(t)} = \frac{2L_m}{D^2T} \tag{5}$$

Dari persamaan 5 diketahui resistansi input (r_s) tergantung dari nilai induktor, periode switching dan duty cycle. Jika konverter flyback dipastikan bekerja pada konduksi tak kontinyu dan duty cyclenya konstan, maka resistansi input (r_s) menjadi konstan. Akibatnya arus $i_s(t)$ mengikuti bentuk dari tegangan input dan flyback menjadi konverter perbaikan faktor daya (KPF/DPFC).

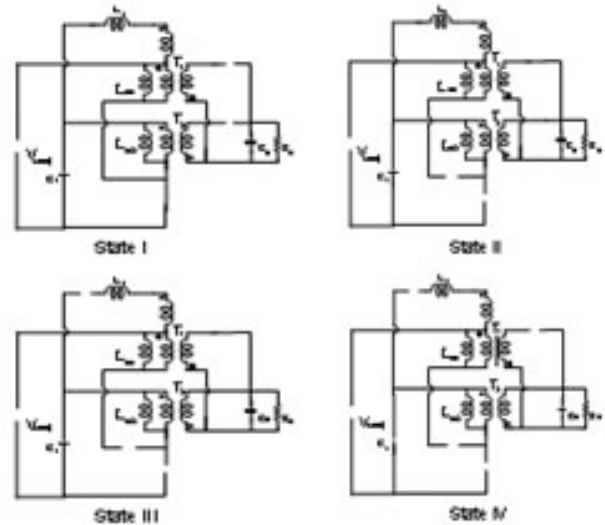
Operasi frekwensi tinggi konverter AC-DC Double Series Flyback PFC Converter yang diajukan ini adalah sebagai berikut:

Ketika saklar Q on, energi dari sumber disimpan pada induktor magnetisasi pada kedua transformator sehingga arus magnetisasi naik secara linier. Dan ketika saklar Q off, dioda D1 dan D2 konduksi, arus magnetisasi akan turun sampai nol sebelum permulaan siklus



Gambar 5. Bentuk gelombang kunci konverter ac-dc dengan perbaikan faktor daya

switching berikutnya dan energi yang tersimpan pada induktor magnetisasi ditransfer ke beban. Operasi selengkapnya dapat dijelaskan dengan menggunakan bentuk gelombang pada Gambar 5 yang terbagi dalam empat subinterval dengan rangkaian ekuivalen masing-masing state terlihat pada Gambar 6.



Gambar 6. Rangkaian ekuivalen masing-masing state pada operasi frekwensi tinggi

Subinterval 1

saklar Q, dioda D3 dan D4 konduksi. Selama waktu ini, arus magnetisasi transformator T1 dan T2 (i_{Lm1} dan i_{Lm2}) naik secara linier. Energi dari sumber disimpan pada induktor L_{m1} dan L_{m2} . Dioda D1 dan D2 masih off, sehingga tidak ada energi yang ditransfer ke beban.

Subinterval 2

dimulai ketika saklar Q off dan dioda D1 dan D2 konduksi. Arus magnetisasi mengalir dari terminal tak bertitik pada sisi primer dan kemudian keluar dari terminal tak bertitik pada sisi sekunder. Ini menyebabkan arus dioda D1 dan D2 positif. Sehingga energi yang tersimpan pada induktor magnetisasi dapat ditransfer ke beban. Pada saat yang sama D4 off dan D3 masih konduksi untuk mengalirkan arus i_{L1} dan mengisi kapasitor C_s .

Subinterval 3

dioda D3 off, tetapi energi yang tersimpan pada induktor magnetisasi kedua transformator masih didistribusikan ke beban.

Subinterval 4

ketika arus magnetisasi i_{Lm1} mencapai nol, dioda D1 menjadi off (konduksi tidak kontinyu), sementara itu arus magnetisasi i_{Lm2} dan D2 masih mengalirkan energi ke beban (konduksi kontinyu).

Agar konverter *flyback* bekerja pada konduksi tidak kontinyu, maka nilai induktor magnetisasi (L_{m1}) pada transformator dibuat sangat kecil. Sementara itu konverter *flyback* kedua (dengan transformator T_2) berfungsi sebagai regulator dc dan beroperasi pada konduksi kontinyu (*Continuous Conduction Mode*) yang diketahui dari arus induktor magnetisasi yang tergantung dari besarnya induktor magnetisasi transformator $T_2(L_{m2})$.

Operasi konduksi dari konverter *flyback* baik konduksi kontinyu maupun tidak kontinyu ditentukan dari nilai induktor magnetisasi pada transformator sisi primer (L_m) dan dapat dihitungkan dengan persamaan 6.

$$L_m = \frac{(V_{DC}^{min} \cdot D_{maks})^2}{2P_{in} f_s K_{RF}} \quad (6)$$

V_{DC}^{min} adalah tegangan input DC minimum, D_{maks} adalah *duty cycle* maksimum, biasanya nilainya antara 0,45 – 0,5, P_{in} adalah daya input yang dihitung dari daya output dibagi efisiensi (P_{out}/eff), f_s adalah frekwensi *switching*, K_{RF} adalah faktor *ripple* pada kondisi beban maksimum dan tegangan minimum. Un-

tuk operasi konduksi tidak kontinyu $K_{RF} = 1$ dan untuk operasi kontinyu $K_{RF} = 0,25 - 0,5$.

Selanjutnya parameter penting lainnya adalah jumlah lilitan pada transformator dan rasio perbandingan lilitan primer dan sekunder. Dengan memilih inti transformator yang terbuat dari ferit dengan model EI, EE atau PQ dapat ditentukan jumlah lilitan primer minimum dari transformator seperti pada Persamaan 7.

$$N_p^{min} = \frac{L_m L_{maks}}{B_{sat} A_c} \times 10^6 \quad (\text{lilitan}) \quad (7)$$

L_m adalah induktor magnetisasi (persamaan 1), I_{maks} harus maksimum yang mengalir pada MOSFET ditentukan dengan persamaan 8 sampai dengan 10.

$$I_{maks} = 1,12 \times \left\{ I_{dc} + \frac{\Delta I}{2} \right\} \quad (8)$$

$$I_{dc} = \frac{P_{in}}{V_{DC}^{min} \cdot D_{maks}} \quad (9)$$

$$\Delta I = \frac{V_{DC}^{min} \cdot D_{maks}}{L_m f_s} \quad (10)$$

B_{sat} adalah kerapatan fluks inti transformator yang menyebabkan saturasi (Tesla) yang nilainya 0,25-0,35 T. AC adalah *cross sectional area* inti yang digunakan dan dapat dilihat pada data book, misal komponen buatan TDK.

Rasio perbandingan lilitan primer dan sekunder transformator dapat ditentukan dari Persamaan 11.

$$n = \frac{N_p}{N_s} = \frac{V_{r0}}{V_0 + V_f} \quad (11)$$

N_p dan N_s adalah jumlah lilitan primer dan sekunder, V_{r0} ditentukan dengan Persamaan 12.

$$V_{r0} = \frac{D_{maks}}{1 - D_{maks}} \cdot V_{DC}^{min} \quad (12)$$

V_0 adalah tegangan output dan V_f adalah tegangan jatuh pada dioda. Jenis inti transformator yang digunakan sama dengan konverter *flyback* pertama dan kedua, yaitu inti PQ3230.

Sedang kapasitor output dipilih untuk memperoleh *ripple* tegangan output yang cukup

kecil. Konfigurasi output dari konverter *Fly-back* sama dengan konverter *Buck-Boost*, maka tegangan *ripple* puncak-puncak adalah:

$$\Delta V_0 = \frac{I_0 \times D}{f \times C_0} \tag{13}$$

Secara umum prosentasi $\Delta V/V_0$ tidak boleh lebih dari 0,5 % [12].

3 DESAIN DAN SIMULASI

Konverter didesain dengan program TurboC++ dan disimulasikan dengan program SCAT (Switching Converter Analysis Tools) berdasarkan pada persamaan 2 sampai dengan Persamaan 9 dengan parameter sebagai berikut:

- $V_{in}^{min} = 85$ Volt-rms
- $V_{in}^{maks} = 240$ Volt-rms
- Efisiensi = 0,8
- $D_{maks} = 0,5$
- $B_{sat} = 0,25$
- $A_c = 1,61$ (Inti PQ3230 TDK)
- $V_F = 0,7$ Volt
- $V_{o2} = 15$ Volt

Dari eksekusi program yang telah dibuat, parameter konverter flyback sebagai PFC terlihat pada Gambar 7 dan konverter flyback sebagai dc regulator terlihat pada Gambar 8.

(Inactive D:\TURBOC-1.5\1VLYD705.EXE)

DESAIN PFC FLYBACK KONVERTER

Tegangan input minimum	= 85	Volt
Tegangan input maksimum	= 240	Volt
Tegangan output	= 50	Volt
Frekuensi switching	= 65000	Hz
Cross Sectional Area Inti	= 1.61	cm2

PARAMETER	NILAI
Daya Output Max	95.00000000 (Watt)
Daya Output Min	12.50000000 (Watt)
Daya Input Max	118.75000000 (Watt)
Jumlah lilitan Primer (Np)	24.6715248479
Jumlah lilitan Sekunder (Ns)	19.9844722748
Ln	0.00007664 (Henry)
Resistor S1	5072.2890625 (Ohm)
Kapasitor S1	0.000000303 (Farad)

Gambar 7. Parameter konverter flyback sebagai PFC

Dengan menggunakan parameter-parameter dari hasil eksekusi program TurboC++, konverter disimulasikan dengan program SCAT seperti terlihat pada Gambar 9.

Hasil simulasi bentuk tegangan, arus input dan spektrum harmonisa arus input ditunjukkan pada Gambar 10 dan Gambar 11.

Dari simulasi tersebut didapat faktor daya (PF) konverter sebesar 0,99 dan memenuhi

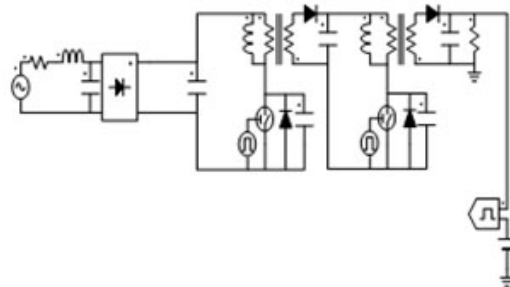
(Inactive D:\TURBOC-1.5\1VLYD707CON.EXE)

DESAIN FLYBACK DC REGULATOR

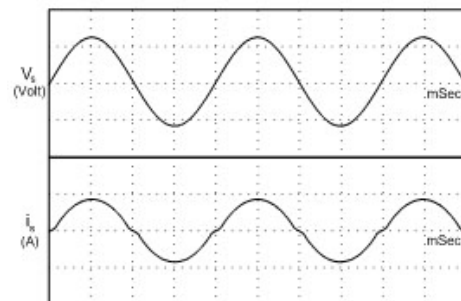
Tegangan input minimum	= 45	Volt
Tegangan input maksimum	= 55	Volt
Tegangan output	= 15	Volt
Frekuensi switching	= 65000	Hz
Cross Sectional Area Inti	= 1.61	cm2

PARAMETER	NILAI
Daya Output Max	75.00000000 (Watt)
Daya Output Min	3.7500000000 (Watt)
Daya Input Max	93.7500000000 (Watt)
Jumlah lilitan Primer (Np)	36.2816505432
Jumlah lilitan Sekunder (Ns)	15.8712123874
Ln	0.0001345846 (Henry)
Resistor S1	1422.8150635 (Ohm)
Kapasitor S1	0.000001081 (Farad)

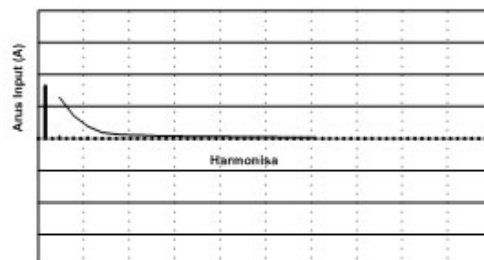
Gambar 8. Parameter konverter flyback sebagai regulator DC



Gambar 9. Rangkaian simulasi konverter



Gambar 10. Bentuk tegangan dan arus input konverter hasil simulasi



Gambar 11. Spektrum harmonisa Arus input hasil simulasi

Standard Harmonisa IEC1000-3-2 Class A dan Class D.

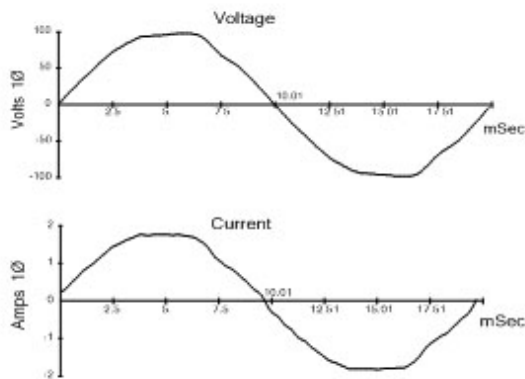
4 HASIL PENGUJIAN

Untuk memverikasi desain dan simulasi yang telah dibahas sebelumnya, maka dibuat konverter yang diajukan ini dengan parameter sebagai berikut:

- Tegangan input AC : 70-85 Volt
- Frekwensi switching : 67 kHz
- Tegangan output : 15 Volt
- Transformator $T_1 : N_{11} : N_{12} = 25:20$
- Induktor magnetisasi : $L_{m1} = 77$ H
- Inti PQ 32/20
- Transformator $T_2 : N_{21} = 36 : 16$
- Induktor magnetisasi : $L_{m2} = 135$ H
- Inti PQ 32/20
- Saklar Q : MOSFET
- Dioda D_1 and D_2 : D33-02CS (schotky diode)
- Kapasitor $C_s = 47$ nF, 400 V
- Kapasitor filter output $C_{o1} = 440$ F, 100 V
- Kapasitor filter output $C_{o2} = 2200$ F, 100 V

Pengujian secara lengkap konverter ac-dc dengan perbaikan faktor daya yang diajukan ini dilakukan menggunakan alat ukur Fluke 4.1B.

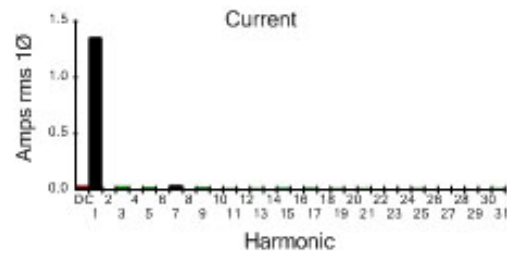
Parameter utama yang diamati adalah tegangan input, arus input, spektrum harmonisa arus input dan faktor daya seperti yang ditunjukkan pada Gambar 12 dan 13.



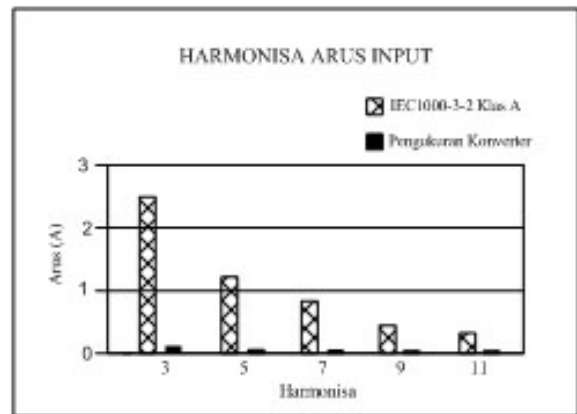
Gambar 12. Bentuk tegangan dan arus input konverter hasil pengujian alat

Berdasarkan data pengukuran, perbandingan harmonisa klas A arus input terlihat pada Gambar 14.

Terlihat bahwa konverter ac-dc satu fasa dengan perbaikan faktor daya yang diajukan ini memenuhi standar harmonisa IEC1000-3-2



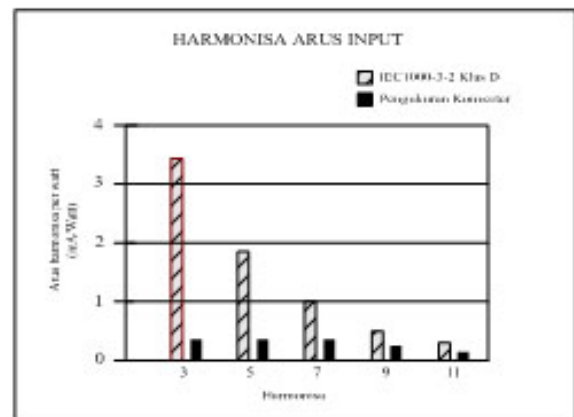
Gambar 13. Spektrum harmonisa arus input konverter hasil pengujian alat



Gambar 14. Perbandingan harmonisa klas A arus input hasil pengujian alat

untuk kategori beban klas A seperti peralatan multimedia, printer, scanner, mesin fax dan peralatan telekomunikasi.

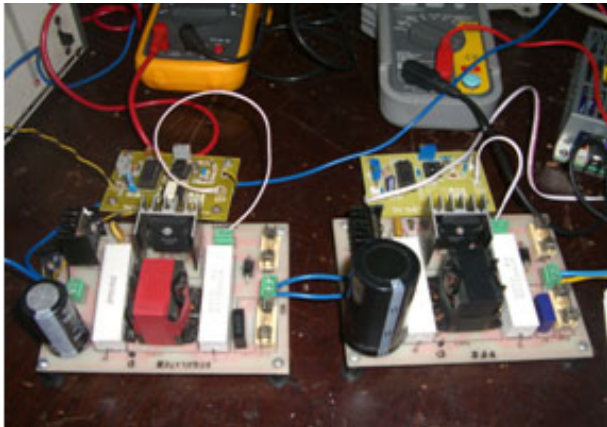
Dan perbandingan harmonisa klas D arus input terlihat pada Gambar 15.



Gambar 15. Perbandingan harmonisa klas D arus input hasil pengujian alat

Dari seluruh pengujian yang telah dilakukan, konverter ac-dc satu fasa dengan perbaikan faktor daya yang diajukan ini mempunyai faktor daya sekitar 0.99 dan secara umum memenuhi standar harmonisa IEC1000-3-2 klas A dan memenuhi standar harmonisa IEC1000-3-2 klas D.

Gambar 16 berikut merupakan foto konverter yang telah dibuat dan telah diuji di laboratorium.



Gambar 16. Foto AC-DC double series flyback PFC converter

5 KESIMPULAN

Paper ini telah membahas konverter AC-DC dengan perbaikan faktor daya (PFC Converter) dua tingkat yang menggunakan rangkaian seri dua konverter *flyback*. Dari hasil simulasi dan data pengujian, konverter ini telah memenuhi standar harmonisa internasional IEC1000-3-2 klas A dan klas D dan mempunyai faktor daya sebesar 0,99 sehingga konverter ini bisa digunakan sebagai pencatu daya DC untuk beban-beban seperti peralatan elektronik, multimedia dan telekomunikasi seperti printer, scanner, komputer, monitor dan televisi.

UCAPAN TERIMAKASIH

Paper ini didanai oleh UPPM PENS-ITS dalam rangka penelitian lokal tahun 2009.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Arthur W. Kelly, "Rectifier Design for Minimum Line-Current Harmonics and Maximum Power Factor", IEEE Transaction on Power Electronics, Vol.7, No.2, April, 1992
- [2] Dragan Maksimovic, Robert W Erickson, "Universal Input, High Power Factor Boost Doubler Rectifiers", IEEE Applied Power Electronics Conference, 1995
- [3] Marek Gotfryd, "Output Voltage and Power Limits in Boost Power Factor Corrector Operating in Discontinuous Inductor Current Mode", IEEE Transaction on Power Electronics, Vol.15, No.1, January 2000
- [4] Hisahito Endo, Takashi Yamashita, Toshiyuki Sugiura, "A High Power Factor Buck Converter", IEEE Applied Power Electronics Conference, 1992
- [5] M. C. Ghanem, K. Al-Haddad, G. Roy, "A new single phase buck-boost converter with unity power factor", in Conference Record of the 1993 IEEE Industry Applications Society Annual Meeting, IAS'93, pp. 785-792, 1993.
- [6] Y.M. Jiang, F.C. Lee, "A new control scheme for Buck+Boost power factor correction circuit," Proceedings of the Virginia Power Electronics Seminar, 1993, pp. 189-193.
- [7] Giorgio Spiazzi, Simone Buso, "Power Factor Pregelators Based on Combined Buck Flyback Topologies", IEEE Transaction on Power Electronics, Vol.15, No.2, March 2000
- [8] Kenji Takeda, Chun-Feng Jin, M. Zaenal Efendi, Tamotsu Ninomiya, "Output voltage ripple reduction for single-stage soft switching PFC Converter", National convention record IEE Japan, 2002
- [9] M. Zaenal Efendi, "A Novel Parallel DC-DC Converter", IECI Japan workshop (Indonesian student community at Japan), 2002
- [10] Chun-Feng Jin, M. Zaenal Efendi, Tamotsu Ninomiya, "Steady-State Characteristics of a new single-stage PFC Converter", IEICE Technical Report, Japan, 2002.
- [11] M. Zaenal Efendi, M.Ashari, Margo P, "A Single Stage Power Factor Correction (PFC) Using Parallel Circuit of Flyback Converter, Master Thesis, Dept. of Electrical Eng, ITS, Surabaya, 2004.
- [12] Robert W Erickson, D. Maksimovic, "Fundamentals of Power Electronics", Kluwer Academic Publishers, Second Edition, 2001, pp. 646-648.
- [13] Abraham I. Pressman, "Switching Power Supply Design" McGRAW-HILL International, International Edition, 1999.



Moh. Zaenal Afandi lahir di Mojokerto pada tahun 1968. Ia memperoleh gelar insinyur (Ir) pada Jurusan Teknik Elektro pada tahun 1992 dan magister teknik (MT) pada tahun 2004, keduanya dari Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS) Surabaya. Ia adalah pengajar pada jurusan Teknik Elektro Industri, Politeknik Elektronika Negeri Surabaya. Bidang penelitian

yang ditekuni adalah Konverter Switching khususnya konverter perbaikan faktor daya (PFC Converter). Pernah melakukan penelitian bidang tersebut di Ninomiya Lab, Kyushu University, Jepang tahun 2001-2002.



Novie Ayub W lahir di Surabaya pada tahun 1975. Ia memperoleh gelar Sarjana Teknik (ST) pada Jurusan Teknik Elektro pada tahun 1999 dan magister teknik (MT) pada tahun 2006, keduanya dari Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS) Surabaya. Ia adalah pengajar pada jurusan Teknik Elektro Industri, Politeknik Elektronika Negeri Surabaya. Bidang penelitian

yang ditekuni adalah Power Quality



Hary Oktavianto lahir di Surabaya pada tahun 1976. Ia memperoleh gelar Sarjana Teknik (ST) pada Jurusan Teknik Elektro-Elektronika pada tahun 2001 dari Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS) Surabaya. Ia adalah pengajar pada jurusan Teknik Elektronika, Politeknik Elektronika Negeri Surabaya sejak tahun 2002. Bidang penelitian yang ditekuni adalah Embedded

System for Digital Signal Processing