

PENERAPAN KENDALI SATU SIKLUS UNTUK MEMPERBAIKI KINERJA KONVERTER AC-DC SATU FASA TOPOLOGI JEMBATAN PADA KONDISI BEBAN BERUBAH-UBAH

Idham Khalid *

Abstract

To convert electrical energy from AC form to DC form, a converter AC-DC is applied. A type of converter that is commonly used to result in a large power is single phase full bridge converter. The performance of this converter is analyzed from input current waveform and output voltage. By using close loop control, a constant output voltage can be obtained. Whereas in order to improve the input current waveform, One Circle Control technique is applied.

By using One Cycle Control technique, errors occurred in the input current that is caused by the load variation, can be eliminate in only one switching cycle. So that the input current waveform always sinusoidal and its power factor always near unity.

The experimental result shows that the implementation of one cycle control technique in a single phase full bridge ac-dc converter can improve the input current waveform and maintain the output voltage in the predetermine level even though the load of the converter varies.

Keywords: One Cycle Control, AC-DC Converter, PWM

Abstrak

Konverter AC-DC berfungsi untuk merubah energi listrik bolak-balik (AC) menjadi energi listrik searah (DC). Konverter AC-DC satu fasa topologi jembatan banyak digunakan dalam banyak aplikasi yang memerlukan daya yang besar. Kinerja konverter AC-DC dianalisis dari tegangan keluaran dan bentuk gelombang arus masukan. Dengan menggunakan sistem umpan balik lup tertutup, tegangan keluaran dapat dipertahankan konstan pada nilai yang ditentukan. Dengan teknik kendali satu siklus, galat yang terjadi pada arus masukan yang disebabkan oleh perubahan beban selalu dapat dihilangkan hanya dalam waktu satu siklus penyakelaran, sehingga bentuk arus masukan selalu berbentuk sinus murni dan factor dayanya selalu mendekati satu.

Dari hasil percobaan, diperoleh bahwa arus masukan selalu mendekati bentuk sinusoidal murni, faktor daya hampir satu dan sefasa dengan tegangan masukan. Sementara tegangan keluaran tetap konstan pada nilai yang diinginkan meskipun tegangan beban berubah-ubah pada batasan tertentu.

Kata kunci: Kendali Satu siklus, Konverter AC-DC, MLP

1. Pendahuluan

Konverter AC-DC berfungsi untuk mengubah tegangan bolak-balik (AC) menjadi tegangan searah (DC). Dalam aplikasi satu fasa, konverter AC-DC satu fasa topologi Jembatan digunakan secara luas, seperti catu daya tak terputus, perbaikan faktor daya,

penggerak kecepatan motor, dan filter daya aktif (Stihi, 1988; Hui, 2000). Untuk memperoleh tegangan DC yang tetap konverter AC-DC dengan teknik Modulasi Lebar Pulsa (MLP) banyak digunakan.

Kinerja Konverter AC-DC bergantung pada kondisi arus masukan dan tegangan keluaran. Konverter AC-

* Staf Pengajar Jurusan D3 Teknik Listrik Fakultas Teknik Universitas Tadulako, Palu

DC yang baik adalah konverter yang dapat menarik arus masukan tanpa distorsi (berbentuk sinusoidal murni) dan mempunyai factor daya satu, sementara tegangan keluaran selalu konstan pada nilai yang telah ditentukan.

Untuk memperoleh faktor daya satu dan arus masukan sinusoidal, maka bentuk gelombang arus masukan fundamental harus sama dan sefasa dengan tegangan masukan. Sehingga diperlukan sebuah referensi sinusoidal yang diikuti oleh arus masukan. Sedangkan untuk mempertahankan tegangan keluaran, maka digunakan teknik umpan balik negatif (Rossetto, 1994).

Teknik Kendali Satu Siklus merupakan suatu teknik kendali arus yang sangat sederhana dengan respon yang cepat telah dibuktikan mampu memperbaiki bentuk arus masukan dan dapat mempertahankan faktor daya konverter AC-DC sama dengan satu meskipun tegangan masukan konverter berubah-ubah (Khalid, 2005).

Dalam tulisan ini, dibahas penerapan teknik Kendali Satu Siklus pada Konverter AC-DC topologi jembatan dengan kondisi beban berubah-ubah. Tujuan dari penerapan ini adalah untuk memperbaiki bentuk arus masukan dan mempertahankan tegangan

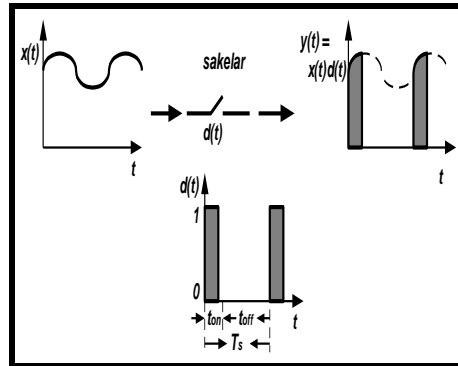
2. Tinjauan Pustaka

2.1 Konsep dasar kendali satu siklus

Metoda Kendali Satu Siklus pertama kali dibahas oleh Smedly [9]. Konsep dasar kendali satu siklus dapat dijelaskan sebagai berikut. Sebuah sakelar akan beroperasi menurut fungsi sakelar $d(t)$ dalam setiap siklus pada frekuensi penyakelaran f_s , dimana $f_s = 1/T_s$, seperti ditunjukkan pada gambar 1, dimana :

$$d(t) = \begin{cases} 1 & 0 < t < t_{on} \\ 0 & t_{on} < t < T_s \end{cases} \dots\dots\dots(1)$$

$d(t) = 1$ berarti sakelar konduksi (ON) dan $d(t) = 0$ berarti sakelar padam (OFF).



Gambar 1. Rangkaian ekivalen dari sebuah sakelar

Sinyal masukan $x(t)$ dipotong oleh sakelar dan diubah menjadi sinyal keluaran $y(t)$. Nilai rata-rata $y(t)$ dalam satu siklus penyakelaran sama dengan luas area dibawah kurva $y(t)$. Karena $f_s \gg$ frekuensi $x(t)$, maka $y(t)$ dapat ditulis :

$$y(t) = \frac{1}{T_s} \int_0^{t_{ON}} x(t) dt \approx x(t) \frac{1}{T_s} \int_0^{t_{ON}} dt = x(t) \cdot d(t) \dots\dots\dots(2)$$

Dengan memodulasi siklus kerja $d(t)$ sedemikian rupa sehingga integrasi dari bentuk gelombang terpotong pada keluaran sakelar sama dengan integrasi dari sinyal referensi, v_{ref} , yaitu:

$$\int_0^{t_{on}} x(t) dt = \int_0^{T_s} v_{ref}(t) dt \dots\dots\dots(3)$$

maka nilai rata-rata dari $y(t)$ sama dengan v_{ref} dalam setiap siklus, yaitu:

$$y(t) = \frac{1}{T_s} \int_0^{t_{ON}} x(t) dt = \frac{1}{T_s} \int_0^{T_s} v_{ref}(t) dt = x(t) \cdot d(t) = v_{ref} \dots\dots\dots(4)$$

Implementasi rangkaian dari persamaa (4) ditunjukkan pada gambar 2.a, terdiri sebuah integrator yang dapat direset (disingkat *Integrator-reset*), komparator, flip-flop dan pembangkit pulsa clock frekuensi konstan. Dan prinsip operasi rangkaian dijelaskan pada gambar 2.b.

Dari gambar 2.b terlihat bahwa, pada permulaan satu siklus penyakelaran, sebuah pulsa clock meng-set flip-flop ($Q=1$), yang pada gilirannya menyalakan sakelar S . Tegangan masukan $x(t)$ dipotong oleh sakelar selama waktu t_{on} menghasilkan tegangan keluaran $y(t)$. Bentuk gelombang terpotong ini diintegrasikan menjadi $v_{int}(t) = \frac{1}{T_s} \int_0^{t_{on}} x(t) dt$ lalu

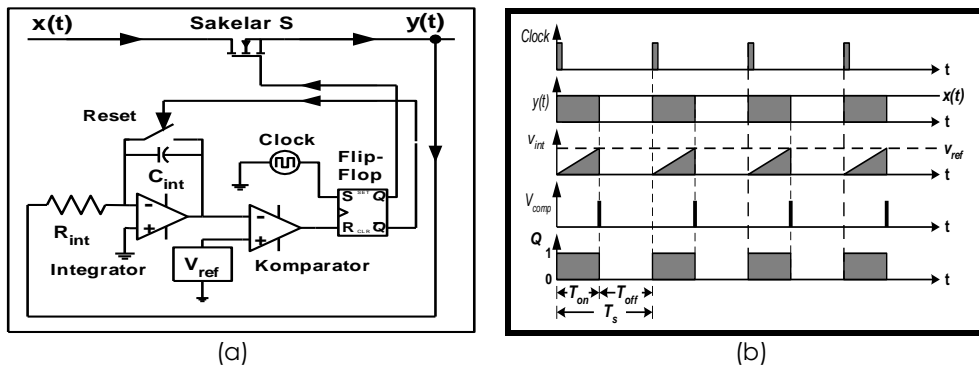
dibandingkan dengan sinyal referensi $v_{ref}(t)$. Ketika $v_{int}(t)$ mencapai $v_{ref}(t)$, keluaran komparator menjadi tinggi dan mereset flip-flop ($Q=0$), sehingga sakelar menjadi padam. Pada waktu yang sama, flip-flop me-reset integrator kembali ke nol untuk persiapan siklus berikutnya. Proses ini berulang dalam setiap siklus penyakelaran. Karena periode sakelar T_s adalah konstan dan

siklus kerja d dikendalikan, maka nilai rata-rata dari bentuk gelombang keluaran sakelar $y(t)$ dalam setiap siklus sama tegangan referensi.

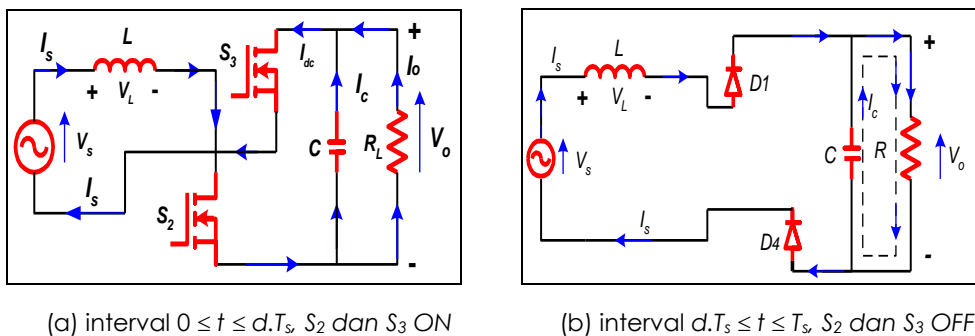
2.2 Konverter AC-DC Jembatan Penuh Modulasi Lebar Pulsa

Konverter AC-DC jembatan penuh terdiri dari empat buah sakelar yang dioperasikan pada frekuensi penyakelaran konstan, f_s . Jika periode penyakelaran dinyatakan dengan T_s ($T_s = 1/f_s$), siklus kerja sakelar S_2 dan S_3 dinyatakan dengan d , dan siklus kerja sakelar S_1 dan S_4 adalah $(1-d)$ dimana $d = t_{on}/T_s$.

Adapun prinsip kerja dari keempat sakelar dapat dijelaskan berdasarkan rangkaian ekuivalen yang ditunjukkan pada gambar 3.



Gambar 2. Implementasi Rangkaian kendali satu siklus dengan frekuensi konstan



(a) interval $0 \leq t \leq d.T_s$, S_2 dan S_3 ON

(b) interval $d.T_s \leq t \leq T_s$, S_2 dan S_3 OFF

Gambar 3. Rangkaian ekuivalen untuk operasi selama setengah siklus positif.

- Selama $0 \leq t \leq dT_s$, Sakelar S_2 dan S_3 menghantar (ON), Arus I_s mengalir dari jala-jala sumber V_s melalui L , S_2 , C , S_3 dan kembali ke jala-jala. Pada interval waktu ini magnituda arus induktor naik dan energi disimpan dalam induktor. Rangkaian ekivalen untuk moda ini ditunjukkan pada gambar 3.a. Persamaan arus sumber yang mengalir ditunjukkan dalam persamaan berikut :

$$\begin{aligned} \Delta I_s &= \frac{V_{L(ON)}}{L} \cdot t_{on} = \frac{V_s + V_o}{L} t_{on} \\ &= \frac{V_s + V_o}{L} \cdot d.T_s \dots\dots\dots(5) \end{aligned}$$

- Selama $d.T_s \leq t \leq T_s$, S_2 dan S_3 Padam (OFF) Arus I_s mengalir dari jala-jala sumber V_s melalui L , $D1$, beban, $D4$, dan kembali ke jala-jala.. Pada interval waktu ini, arus induktor turun dan energi dari induktor dipindahkan ke beban. Pada saat yang sama, arus dari kapasitor C mengalir juga ke beban. Rangkaian ekivalen untuk moda operasi ini ditunjukkan pada gambar 3.b.

$$\begin{aligned} \Delta I_s &= \frac{V_{L(OFF)}}{L} \cdot t_{off} \\ &= \frac{V_s - V_o}{L} \cdot (1 - d).T_s \dots\dots\dots(6) \end{aligned}$$

Bentuk gelombang tegangan dan arus dari konverter AC-DC pada setengah siklus positif jala-jala ditunjukkan pada gambar 4.

Untuk operasi frekuensi konstan, tegangan-detik rata-rata dari induktor selama satu siklus penyakelaran dalam kondisi setengah-mantap (*quasi steady-state*) adalah seimbang, yaitu :

$$V_{L(ON)} \cdot t_{on} = -V_{L(OFF)} \cdot t_{off} \dots\dots\dots(7)$$

Atau :

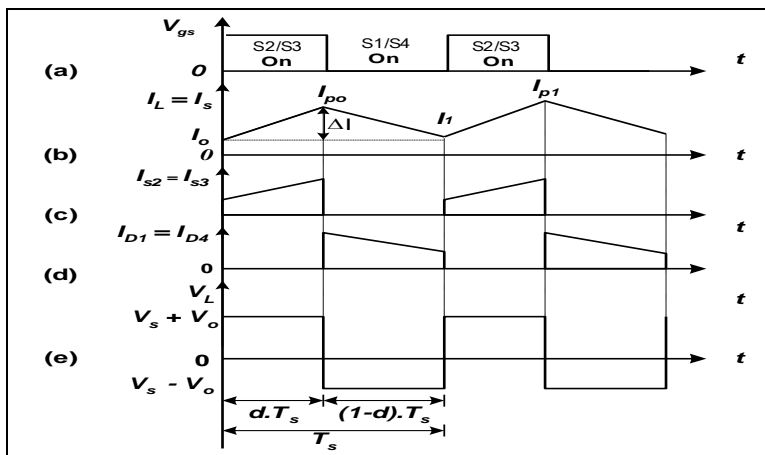
$$(V_s + V_o) \cdot d = - (V_s - V_o) \cdot (1 - d) \dots\dots(8)$$

Sehingga :

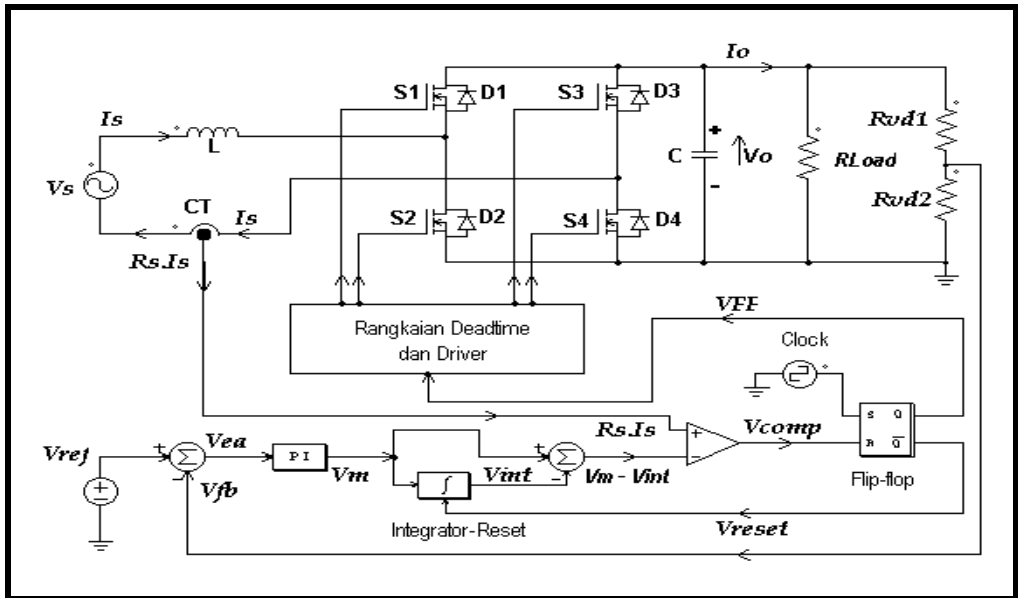
$$V_o = \frac{1}{1 - 2d} \cdot V_s \dots\dots\dots(9)$$

dimana :

I_s , V_s , V_o , V_L , t_{on} , dan t_{off} secara berturut-turut adalah arus masukan, tegangan masukan, tegangan keluaran, tegangan induktor, waktu menghantar sakelar S_2 dan S_3 , dan waktu padam sakelar S_2 dan S_3 .



Gambar 4. Bentuk gelombang tegangan dan arus konverter AC-DC pada setengah siklus positif



Gambar 5 Diagram Blok dari Rangkaian Kendali Konverter AC-DC MLP Satu Fasa Jembatan Penuh dengan Kendali satu Siklus

2.3 Penerapan Kendali Satu Siklus untuk Konverter AC-DC Satu Fasa Jembatan Penuh

Untuk memperoleh arus masukan sinusoidal pada faktor daya satu, sebuah rangkaian konverter AC-DC MLP harus dapat menandingi (*emulate*) sebuah tahanan emulator R_e pada sisi catu daya sambil mempertahankan tegangan keluaran pada nilai yang ditentukan (Qiao, 2001). Dalam hal ini :

$$V_s = R_e \cdot I_s \dots\dots\dots(10)$$

Dengan memasukkan persamaan 10 kedalam persamaan 9 dan mengalikan kedua ruas dengan tahanan perasa arus R_s maka diperoleh :

$$\frac{R_s}{R_e(1-2d)} \cdot V_o = R_s \cdot I_s \dots\dots\dots(11)$$

Jika didefinisikan : $V_m = \frac{R_s}{R_e} \cdot V_o \dots\dots\dots(12)$

maka diperoleh $V_m \cdot (1-2d) = R_s \cdot I_s \dots\dots\dots(13)$

Karena $d = \frac{t_{on}}{T_s}$, maka persamaan (13) dapat ditulis :

$$V_m - 2V_m \cdot \frac{t_{on}}{T_s} = R_s \cdot I_s \dots\dots\dots(14)$$

Persamaan (14) adalah persamaan kunci dari rangkaian kendali satu siklus untuk konverter AC-DC satu fasa. Implementasi persamaan ini dalam bentuk rangkaian diperlihatkan pada gambar 5.

3. Metode Penelitian

Penelitian ini dilakukan dengan metode eksperimen. Adapun Langkah-langkah penelitian adalah sebagai berikut :

1. Melakukan analisis matematis terhadap rangkaian daya dan rangkaian kendali penyerah MLP satu fasa jembatan penuh.
2. Merancang dan memodelkan rangkaian sistem keseluruhan
3. Menentukan spesifikasi dan menghitung parameter kendali
4. Membuat dan mengetes alat
5. Melakukan percobaan dengan memberikan beban tahanan yang bervariasi. Tegangan masukan dipertahankan konstan.

4. Hasil dan pembahasan

Pada penelitian ini dibuat *prototype* Konverter MLP satu fasa jembatan penuh penaik tegangan lup tertutup dengan teknik kendali yang diusulkan. Spesifikasi konverter AC-DC yang dirancang adalah sebagai berikut :

- Daya keluaran maksimum (P_o, \max) = 50 watt
- Tegangan masukan = 24 Vrms
- Frekuensi jala-jala (f_{line}) = 50 Hz
- Tegangan keluaran (V_o) = 48 VAS
- Riak tegangan keluaran ($\Delta V_o, pp$) = 1.5%
- Frekuensi penyakelaran : 15 kHz

Percobaan dilakukan dengan kondisi sebagai berikut :

- Tegangan masukan ditetapkan konstan pada 24 Vrms.
- Beban divariasikan dari $I_o = 0.28$ A s/d 1.04 A.

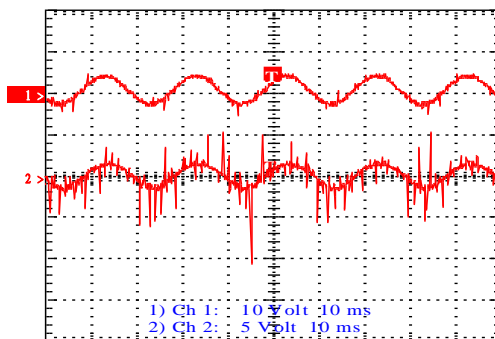
Hasil percobaan yang diperoleh menunjukkan bahwa tegangan keluaran tetap konstan pada nilai 48.5 V dan arus masukan selalu berbentuk sinusoidal dengan faktor daya selalu diatas 0,95. Hasil keseluruhan dari percobaan ditunjukkan pada tabel 1.

Bentuk - bentuk gelombang tegangan masukan, arus masukan dan tegangan keluaran seperti pada gambar 6(a) , 6(b) , gambar 7(a), 7(b), gambar 8(a), 8(b), Gambar 9(a), 9(b).

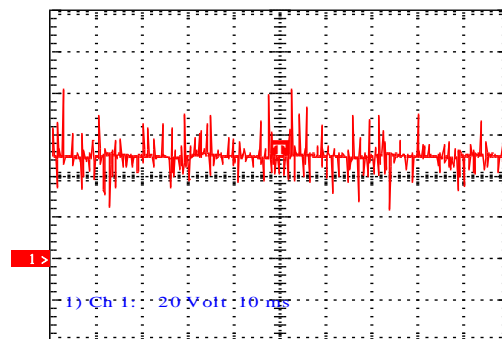
Tabel 1. Data hasil percobaan untuk kondisi tegangan masukan konstan dan beban berubah-ubah

$V_o(ave)$ (Volt)	$I_o(ave)$ (Amp)	$V_s(rms)$ (Volt)	$I_s(rms)$ (Amp)	$Cos\ phi$	$P_o(ave)$ (Watt)
48.5	1.04	24	2.5	0.98	50.4
48.5	0.80	24	2.0	0.98	38.8
48.5	0.60	24	1.4	0.98	29.1
48.5	0.52	24	1.2	0.98	25.2

1. $I_o = 1.04$ A = 50 Watt



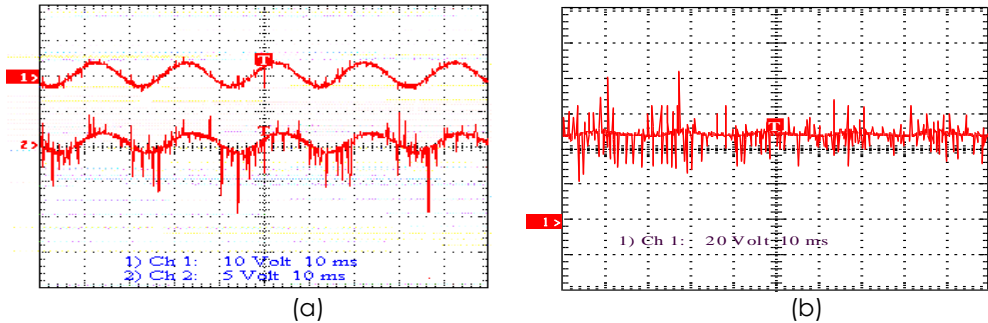
(a)



(b)

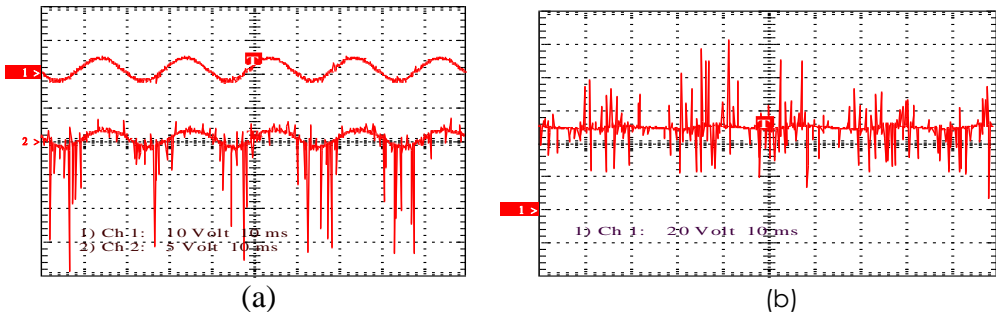
Gambar 6 Bentuk gelombang hasil percobaan untuk beban $I_o = 1.04$ A
 (a) Tegangan masukan (atas) dan arus masukan (bawah)
 (b) Tegangan keluaran

2. $I_o = 0.8 \text{ A} = 38.8 \text{ watt}$



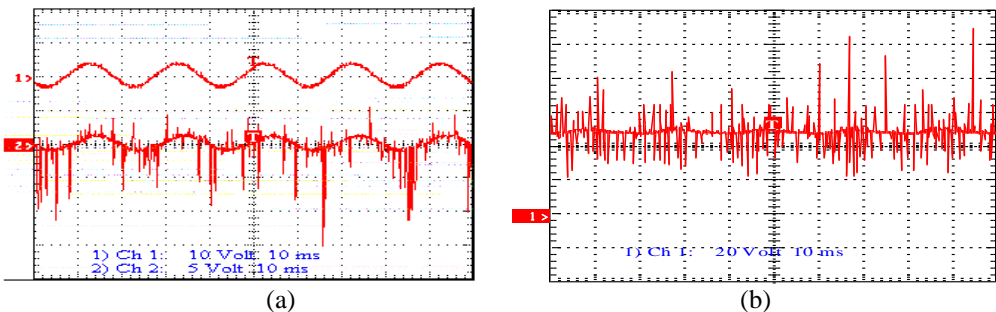
Gambar 7 Bentuk gelombang hasil percobaan untuk beban $I_o = 0.8 \text{ A}$
 (a) Tegangan masukan (atas) dan arus masukan (bawah) ;
 (b) Tegangan keluaran

3. $I_o = 0.6 \text{ A} = 29.1 \text{ Watt}$



Gambar 8 Bentuk gelombang hasil percobaan untuk beban $I_o = 0.6 \text{ A}$
 (a) Tegangan masukan (atas) dan arus masukan (bawah)
 (b) Tegangan keluaran

4. $I_o = 0.52 \text{ A} = 25.2 \text{ Watt}$



Gambar 9 Bentuk gelombang hasil percobaan untuk beban $I_o = 0.52 \text{ A}$
 (a) Tegangan masukan (atas) dan arus masukan (bawah)
 (b) Tegangan keluaran

Hasil percobaan menunjukkan bahwa tegangan rata-rata keluaran konverter AC-DC dapat dipertahankan konstan, meskipun beban berubah-ubah dari minimum sampai maksimum.

Arus fundamental masukan selalu berbentuk sinusoidal dengan faktor daya selalu lebih dari 0.95 atau hampir sefasa dengan tegangan masukan.

Bentuk gelombang arus masukan selalu sinusoidal dan mengikuti bentuk gelombang tegangan masukan dengan pergeseran fasa hampir nol, yang berarti faktor daya selalu mendekati satu.

Pada beban ringan, rick tegangan keluaran semakin besar dan arus masukan mengalami distorsi yang besar.

Terdapat *notching* dengan magnituda yang besar mengganggu bentuk gelombang arus masukan dan tegangan keluaran. Ini disebabkan oleh proses komutasi frekuensi tinggi pada mosfet. *Noise* frekuensi tinggi juga mengganggu bentuk gelombang arus masukan dan tegangan keluaran. *Notching* disebabkan operasi normal mosfet daya ketika arus mengalami transisi dari satu fasa ke fasa lainnya dan terjadi selama keadaan mantap. Karena frekuensi penyakelaran sangat tinggi, yaitu 15 kHz, maka frekuensi terjadinya *notching* juga sangat tinggi. *Noise* yang besar pada bentuk gelombang arus masukan, bisa disebabkan oleh beberapa faktor seperti : karakteristik mosfet, komponen-komponen rangkaian kendali, sintem pentanahan (*grounding*) dalam rangkaian yang kurang bagus dan sambungan-sambungan komponen dalam papan tercetak (PCB) yang kurang sempurna.

5. Kesimpulan

1. Sebuah konverter AC-DC MLP satu fasa jembatan penuh penaik tegangan dengan teknik kendali satu siklus telah dianalisa dan dibahas.
2. Hasil percobaan memperlihatkan bahwa dengan menggunakan sistem umpan balik, tegangan keluaran konverter AC-DC dapat dipertahankan konstan pada nilai yang diinginkan, meskipun beban berubah-ubah dari minimum sampai maksimum.
3. Bentuk gelombang tegangan masukan dan arus masukan selalu sefasa yang berarti bahwa faktor daya sistem selalu sama dengan satu.
4. Dengan menggunakan teknik kendali satu siklus, bentuk gelombang arus masukan selalu berbentuk sinus dengan distorsi yang relatif kecil.
5. Dengan menggunakan teknik MLP pada konverter AC-DC, tegangan keluaran dapat dibuat lebih tinggi dari tegangan masukan tanpa menggunakan transformator.

6. Daftar Pustaka

- Khalid, Idham, 2005, Simulasi Penyearah Modulasi Lebar Pulsa Satu fasa Jembatan Penuh Dengan Kendali Satu Siklus Pada Kondisi Tegangan Masuk Berubah-Ubah, Jurnal Smartek, Fakultas teknik Universitas Tadulako, Volume 3 No. 1, hal. 37-45.
- Mohan, N. *et.al.*, 1995, Power Electronics : Converters, Application and Design, John Wiley and son, Inc.
- Qiao, C. *et.al.*, 2001, A Comprehensive Analysis and Design of a Single Phase Unity Power Factor Boost Rectifier With Lower Distorsion, IEEE Power Electronics Society Conference Record.
- Rossetto, L., *et.al.*, 1994, Control Techniques for Power Factor Correction Converter, International Conference on PEMC proceeding, Warsaw, September, p.1310-1318.
- Salmon, J.C., 1993, Techniques for Minimizing the Input Current Distortion of Current Controlled Single Phase Boost Rectifier, IEEE Transaction on Power Electronics, Vol. 8 No.4, October, p.508-520
- Smedley, 1995, One-Cycle Control of Switching Converters, IEEE Transaction on Power Electronics, Vol. 10, No.6, November, p.625-633.