

SIMULASI PENYEARAH MODULASI LEBAR PULSA SATU FASA JEMBATAN PENUH DENGAN KENDALI SATU SIKLUS PADA KONDISI TEGANGAN MASUK BERUBAH-UBAH

Idham Khalid *

Abstract

The performance of a Single phase PWM Rectifier with Boost Full-bridge topology is analyzed and investigated in this paper. The input current and output voltage of the rectifier are controlled using One Cycle Control Method. By using One Cycle Control technique, errors that occur both in input current and output voltage due to input voltage disturbance are eliminated in only one switching cycle, so that the output voltage is always same as the reference.

The simulation results show that the input current always nearly pure sinusoidal and in phase with the input voltage. Meanwhile the output voltages always remain constant at the required level even though the input voltage varies in the certain limits.

Keywords: PWM Rectifier, One Cycle Control, Reset-Integrator

Abstrak

Sebuah penyearah MLP satu fasa dengan topologi jembatan penuh penaik tegangan dianalisis dan diamati kinerjanya dalam paper ini. Arus masukan dan tegangan keluaran penyearah tersebut dikendalikan dengan metoda Kendali Satu Siklus. Dengan teknik kendali satu siklus, galat yang terjadi pada arus masukan maupun pada tegangan keluaran yang disebabkan oleh gangguan tegangan masukan selalu dihilangkan hanya dalam waktu satu siklus penyakelaran, sehingga tegangan keluaran selalu sama dengan tegangan referensi,

Hasil simulasi menunjukkan 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 masukan bervariasi pada batasan tertentu.

Kata kunci: Penyearah MLP, Kendali satu siklus, integrator-reset

1. Pendahuluan

Kebutuhan akan sumber tegangan searah yang terus meningkat saat ini seiring semakin meningkatnya peralatan listrik yang menggunakan tegangan searah menuntut adanya catu daya dengan kualitas yang handal. Penyearah yang berfungsi untuk mengubah tegangan bolak-balik menjadi tegangan searah merupakan alat yang penting dalam hal penyediaan sumber tegangan searah ini. Di masa lalu, penyearah dioda dan SCR banyak digunakan. Kelemahan penyearah dioda adalah tegangan keluaran tidak dapat dikendalikan sehingga magnituda tegangan keluaran sangat tergantung pada magnituda tegangan masukan. Sedangkan penyearah SCR

menimbulkan distorsi harmonisa yang besar pada jala-jala dan mempunyai factor daya masukan yang rendah (Mohan, 1995).

Untuk mengatasi kelemahan dari penyearah konvensional tersebut digunakan penyearah dengan teknik Modulasi Lebar Pulsa (MLP), baik untuk aplikasi satu fasa maupun tiga fasa. Penyearah MLP Satu Fasa Jembatan Penuh Penaik tegangan digunakan secara luas dalam berbagai aplikasi seperti catu daya tak terputus, perbaikan faktor daya, penggerak kecepatan motor, dan filter daya aktif (Stihi, 1988; Hui, 2000).

Untuk memperoleh faktor daya satu dan arus masukan sinusoidal, maka bentuk gelombang arus masukan

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

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

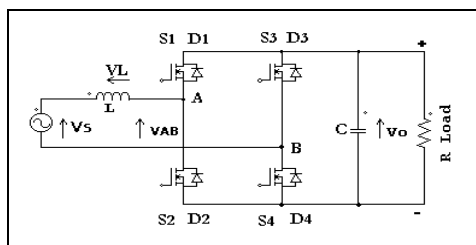
Beberapa teknik pengendalian untuk memperoleh referensi arus ini telah dibahas oleh peneliti sebelumnya (Rossetto, 1994; Smedley, 1995; Stihl, 1988). Teknik kendali yang paling sederhana dengan respon yang cepat, adalah *Kendali Satu Siklus*, yang diusulkan oleh Smedley [1995]. Teknik kendali ini telah terbukti mempunyai respon yang cepat ketika diterapkan pada konverter topologi buck. Namun apakah teknik kendali bisa diterapkan pada topologi penyearah MLP satu fasa jembatan penuh penaik tegangan? Inilah yang akan dibuktikan oleh penulis melalui simulasi dan analisis.

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui apakah teknik Modulasi lebar Pulsa dan Kendali Satu Siklus dapat digunakan untuk mempertahankan tegangan keluaran pada nilai tertentu dan memperbaiki faktor daya masukan dari penyearah, meskipun tegangan masukan berubah-ubah

2. Tinjauan Pustaka

2.1 Analisis Penyearah Modulasi Lebar Pulsa Satu Fasa Jembatan Penuh Penaik Tegangan

Rangkaian daya penyearah MLP satu fasa jembatan penuh penaik tegangan ditunjukkan pada gambar 1 (Stihl, 1988).



Gambar 1. Rangkaian Daya Penyearah MLP satu fasa jembatan penuh penaik tegangan

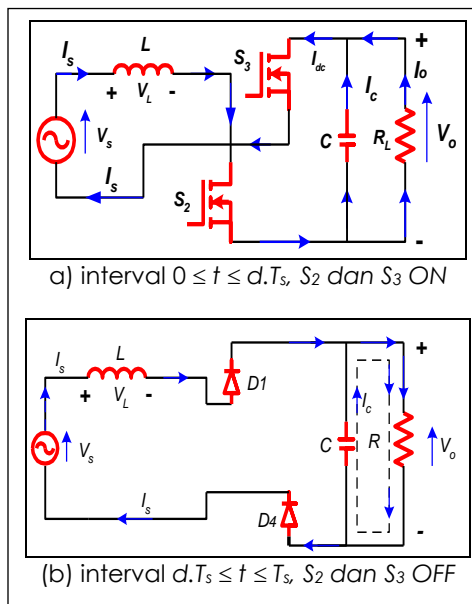
Berdasarkan bentuk gelombang tegangan antar lengan penyearah, V_{AB} , ada dua macam pola penyakelaran MLP, yaitu : MLP satu kutub (*Unipolar PWM*), dan MLP dua kutub (*Bipolar PWM*) [Mohan, 1995].

Dengan pola penyakelaran MLP dua kutub, sakelar yang berpasangan secara diagonal (S1 dan S4 atau S2 dan S3) dinyalakan secara serentak dan sakelar-sakelar dalam setiap lengan dinyalakan secara berlawanan (*complementary*) sehingga tegangan antar lengan penyearah V_{AB} bernilai $+V_o$ dan $-V_o$.

Keempat sakelar dioperasikan pada frekuensi penyakelaran konstan, f_s . Jika periode penyakelaran dinyatakan dengan T_s ($T_s = 1/f_s$), siklus kerja sakelar S2 dan S3 dinyatakan dengan d , dan siklus kerja sakelar S1 dan S4 adalah $(1-d)$ dimana :

$$d = t_{on}/T_s \dots\dots\dots(1)$$

Adapun prinsip kerja dari keempat sakelar dapat dijelaskan berdasarkan rangkaian ekuivalen yang ditunjukkan pada Gambar 2.



Gambar 2. 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 ekuivalen untuk moda ini ditunjukkan pada gambar 2.a. Persamaan arus sumber yang mengalir ditunjukkan dalam persamaan berikut :

$$\Delta I_s = \frac{V_{L(ON)}}{L} \cdot t_{on} = \frac{V_s + V_o}{L} t_{on}$$

$$= \frac{V_s + V_o}{L} \cdot d.T_s \dots\dots\dots(2)$$

- 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 ekuivalen untuk moda operasi ini ditunjukkan pada gambar 2.b.

$$\Delta I_s = \frac{V_{L(OFF)}}{L} \cdot t_{off}$$

$$= \frac{V_s - V_o}{L} \cdot (1 - d).T_s \dots\dots\dots(3)$$

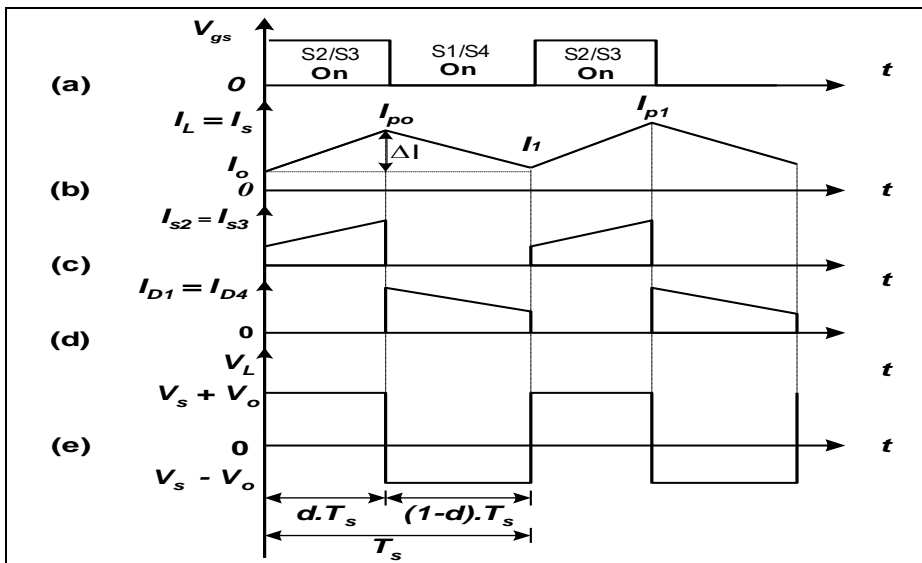
Bentuk gelombang tegangan dan arus dari penyearah pada setengah siklus positif jala-jala ditunjukkan pada Gambar 3.

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

$$V_{L(ON)} \cdot t_{on} = -V_{L(OFF)} \cdot t_{off} \dots\dots\dots(4)$$

Atau:

$$(V_s + V_o) \cdot d = -(V_s - V_o) \cdot (1 - d) \dots\dots(5)$$



Gambar 3. Bentuk gelombang tegangan dan arus penyearah pada setengah siklus positif

Sehingga:

$$V_o = \frac{1}{1-2d} \bullet V_s \dots\dots\dots(6)$$

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 .

2.2 Pengendalian Penyearah Satu Fasa Jembatan Penuh Penaik Tegangan dengan Kendali Satu Siklus

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

$$V_s = R_e \cdot I_s \dots\dots\dots(7)$$

Dengan memasukkan persamaan 7 kedalam persamaan 6 dan mengalikan kedua ruas dengan tahanan perasa arus R_s maka diperoleh :

$$\frac{R_s}{R_e(1-2d)} \cdot V_o = R_s \cdot I_s \dots\dots\dots(8)$$

Jika didefinisikan : $V_m = \frac{R_s}{R_e} \cdot V_o$ maka diperoleh:

$$V_m \cdot (1-2d) = R_s \cdot I_s \dots\dots\dots(9)$$

3. Metode Penelitian

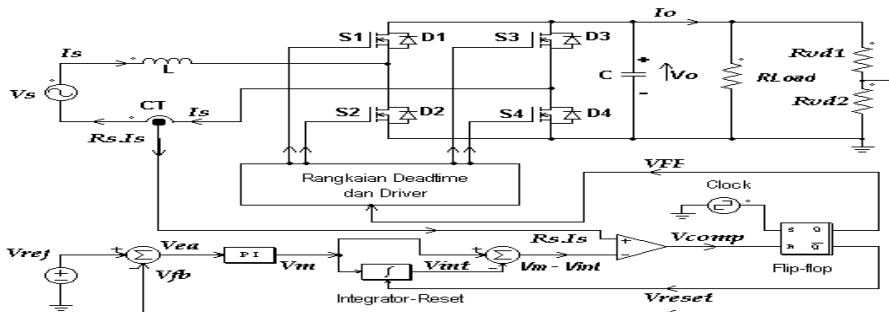
Penelitian ini dilakukan dengan metode simulasi. Simulasi dilakukan dengan menggunakan perangkat lunak Power Electronic Simulator atau PSIM® Versi 4.1 dengan parameter-parameter ditentukan berdasarkan hasil perhitungan. Adapun prosedur simulasi adalah sebagai berikut :

1. Melakukan analisis matematis terhadap rangkaian daya dan rangkaian kendali penyearah MLP satu fasa jembatan penuh.
2. Merancang dan memodelkan rangkaian sistem keseluruhan
3. Menentukan spesifikasi dan menghitung parameter kendali
4. Tegangan masukan diubah-ubah sebanyak lima kali dengan beban resistif konstan.
5. Hasil simulasi berupa bentuk gelombang tegangan dan arus dianalisis.

4. Hasil dan Pembahasan

Dengan mengimplementasikan persamaan 10 secara fisik menggunakan komponen analog, dan menerapkannya pada rangkaian penyearah pada gambar 1, diperoleh rangkaian lengkap seperti pada Gambar 4.

Rangkaian tersebut disimulasikan menggunakan perangkat lunak Power electronic simulator (PSIM®) dengan parameter-parameter sebagai berikut :



Gambar 4 Diagram Blok dari Rangkaian Kendali Penyearah MLP Satu Fasa Jembatan Penuh Penaik tegangan dengan Kendali satu Siklus

Simulasi Penyearah Modulasi Lebar Pulsa Satu Fasa Jembatan Penuh Dengan Kendali Satu Siklus Pada Kondisi Tegangan Masuk Berubah-ubah
(Idham Khalid)

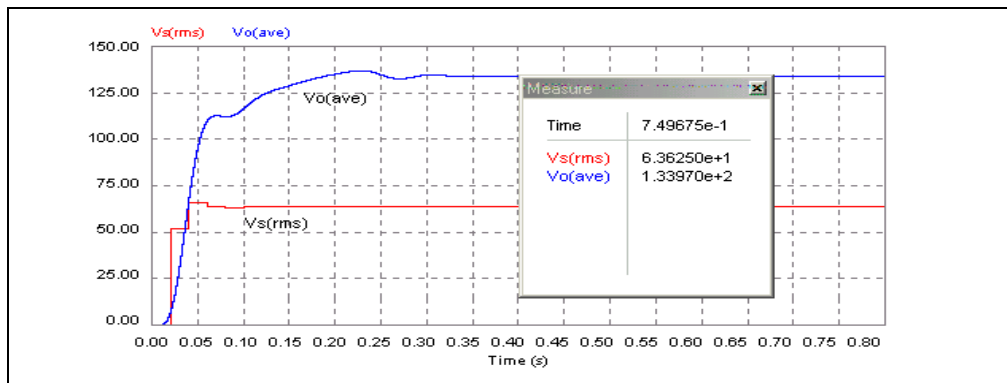
- Sensor tegangan keluaran :
Rvd1 = 290 k Ω ; Rvd2 = 15 k Ω
- Sensor tegangan masuk :
Gain = 0,1
- Sensor arus :
Gain = 0.4
- Filter :
C = 4700 μ F ; L = 5mH; rL = 0.3 Ω
- Tegangan Referensi :
Vref = 6.15V;
- Pengendali : PI :
kp=10, Ti = 500 μ s; Integrator-reset: Ti = 33.15 μ S
- Clock :
fs = 15 kHz; dclock = 0.1
- Beban :
RL = 70 Ω
- Tegangan masuk :
Vs = 90 s/d 130 V(peak) atau 63,62 s/d 88,39 V(rms)

Adapun Hasil simulasi ditunjukkan dalam Table 1.

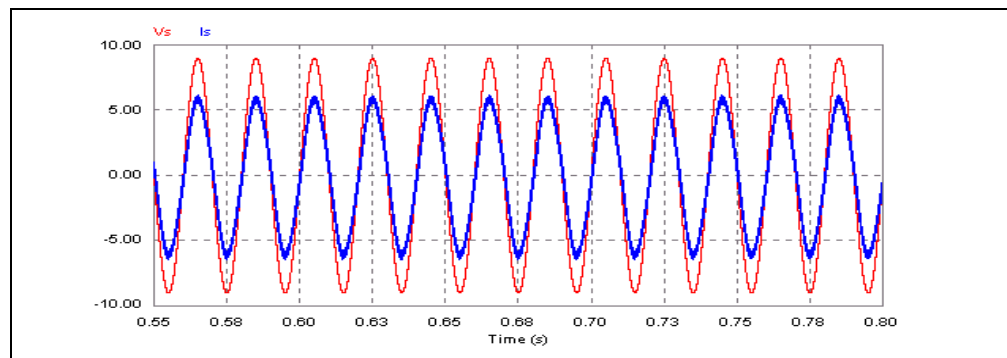
Tabel 1 Hasil simulasi penyearah untuk tegangan masuk berubah-ubah

Tegangan Masuk (Vs)		Faktor Daya Pergeseran (DPF)	Tegangan keluaran rata-rata Vo(ave) V
V(peak)	V(rms)		
90	63,62	0,9994	133,970
100	70,69	0,9991	133,967
110	77,76	0,9988	133,966
120	84,83	0,9975	133,964
125	88,39	0,9969	133,964

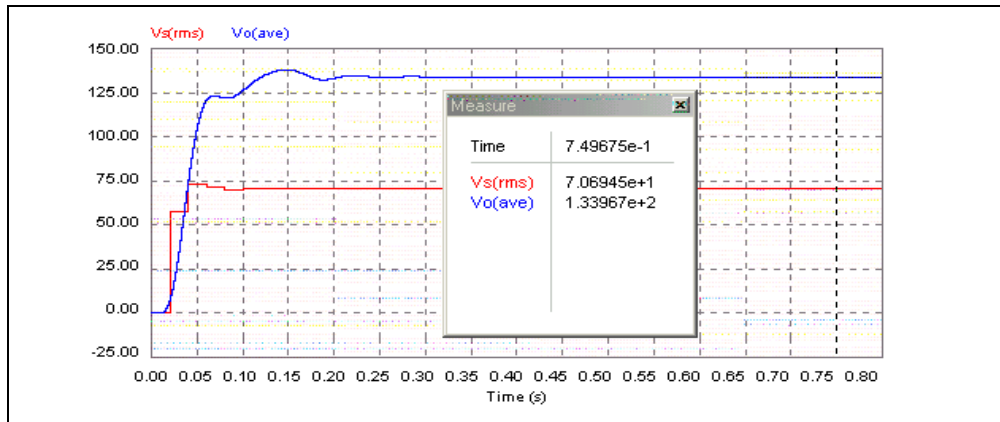
Sedangkan bentuk-bentuk gelombang tegangan masukan, arus masukan dan tegangan keluaran dari penyearah ditunjukkan pada Gambar 5 sampai dengan Gambar 14.



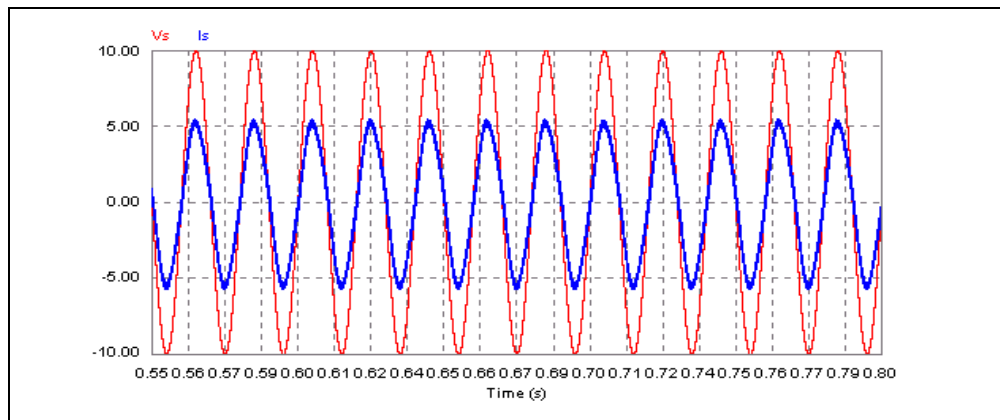
Gambar 5. Bentuk gelombang tegangan masukan (kurva bawah) dan tegangan keluaran (kurva atas) untuk Vs = 63,62 V(rms)



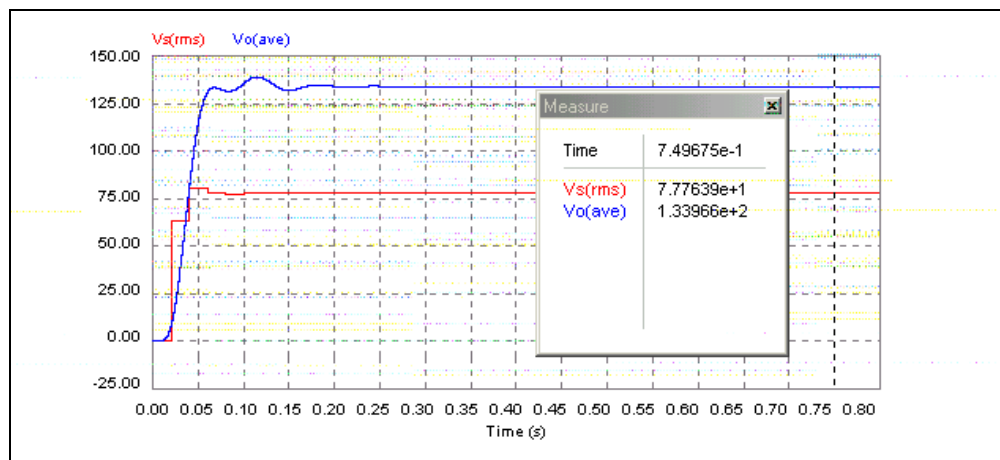
Gambar 6. Bentuk gelombang tegangan masukan (kurva luar) dan arus masukan (kurva dalam) untuk Vs = 63,62 V(rms)



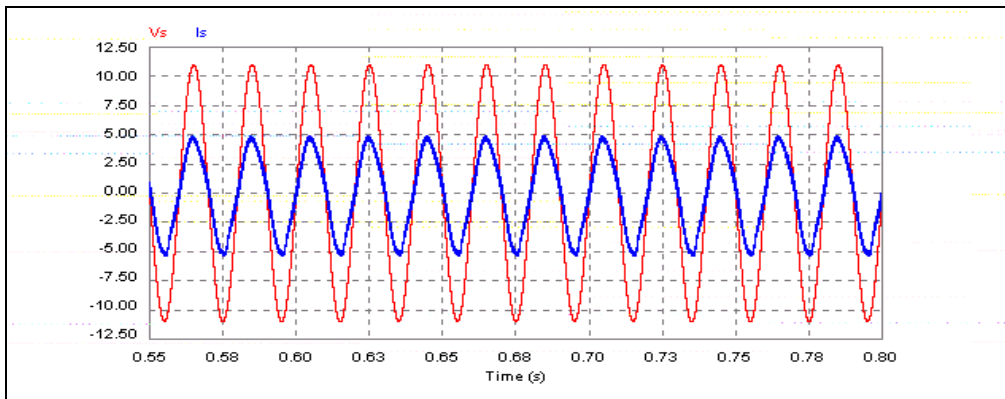
Gambar 7. Bentuk gelombang tegangan masukan (kurva bawah) dan tegangan keluaran (kurva atas) untuk $V_s = 70,69 \text{ V}(\text{rms})$



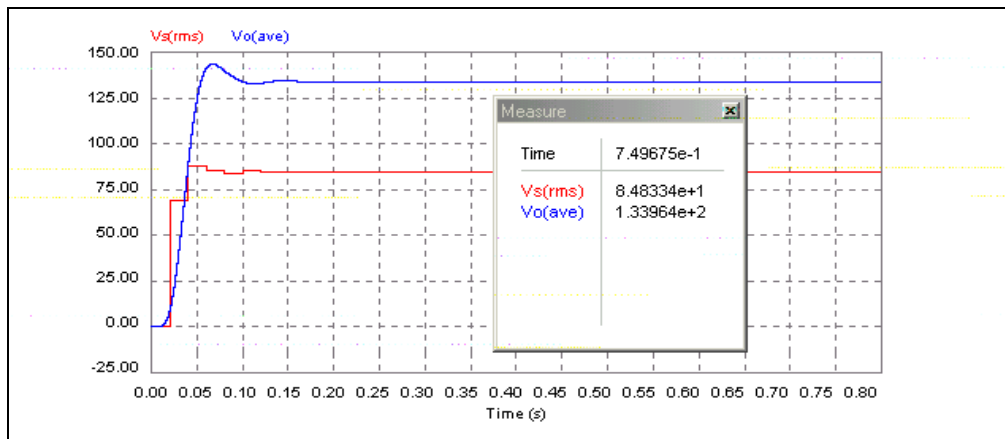
Gambar 8. Bentuk gelombang tegangan masukan (kurva luar) dan arus masukan (kurva dalam) untuk $V_s = 70,69 \text{ V}(\text{rms})$



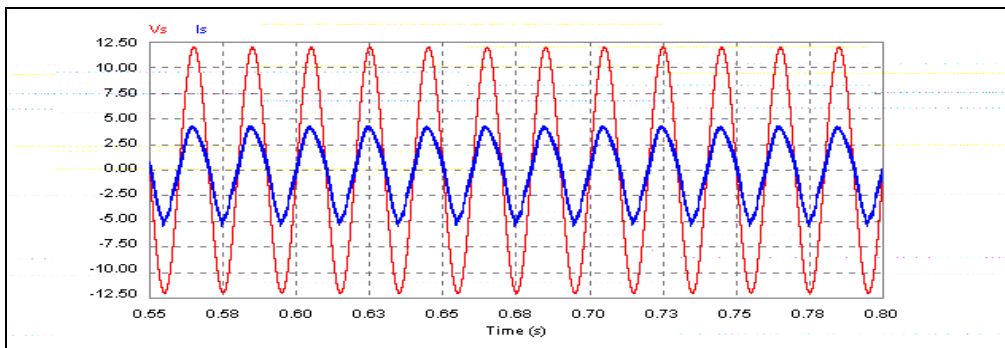
Gambar 9. Bentuk gelombang tegangan masukan (kurva atas) dan tegangan keluaran (kurva bawah) untuk $V_s = 77,76 \text{ V}(\text{rms})$



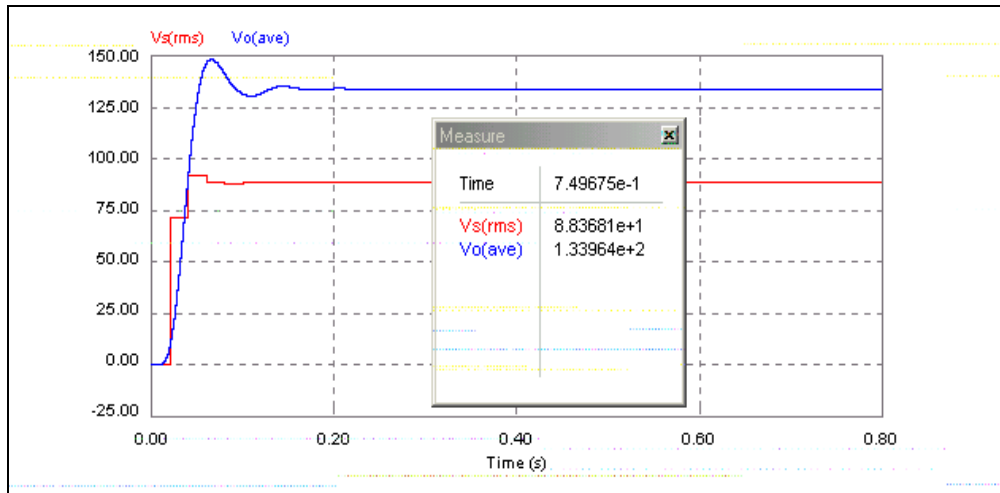
Gambar 10. Bentuk gelombang tegangan masukan (kurva luar) dan arus masukan (kurva dalam) untuk $V_s = 77,76 \text{ V(rms)}$



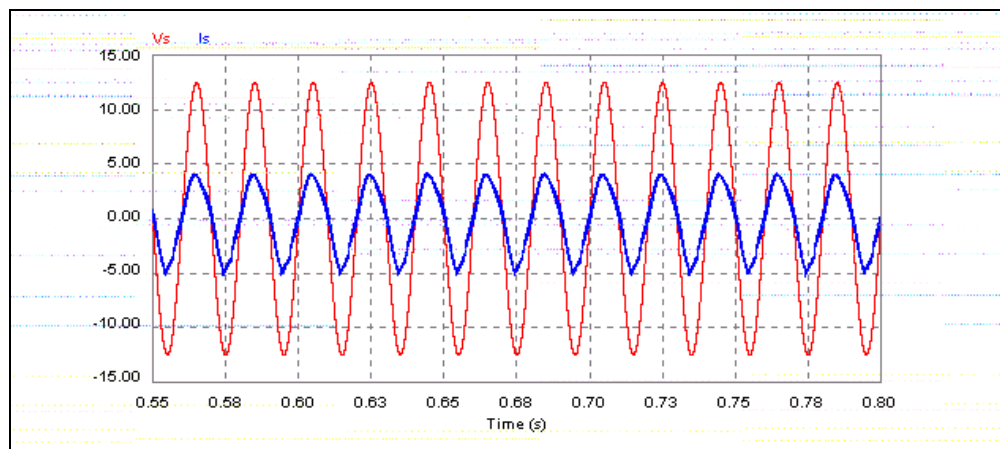
Gambar 11. Bentuk gelombang tegangan masukan (kurva atas) dan tegangan keluaran (kurva bawah) untuk $V_s = 84,83 \text{ V(rms)}$



Gambar 12. Bentuk gelombang tegangan masukan (kurva luar) dan arus masukan (kurva dalam) untuk $V_s = 84,83 \text{ V(rms)}$



Gambar 13. Bentuk gelombang tegangan masukan (kurva atas) dan tegangan keluaran (kurva bawah) untuk $V_s = 88,39$ V(rms)



Gambar 14. Bentuk gelombang tegangan masukan (kurva luar) dan arus masukan (kurva dalam) untuk $V_s = 88,39$ V(rms)

Dari Gambar 5, 7, 9, 11, dan 13 terlihat bahwa meskipun tegangan masukan V_s berubah-ubah dari 63,62 V(rms) sampai dengan 88,39 V(rms), tegangan keluaran tetap konstan pada nilai 134 V(rms). Perubahan yang tampak pada bentuk tegangan keluaran adalah makin tinggi tegangan masukan, maka waktu yang diperlukan untuk mencapai keadaan mantap sedikit lebih lama. Arus masukan semakin kecil jika tegangan masukan semakin besar. Dari Gambar 6, 8, 10, 12, dan 14 terlihat bahwa bentuk tegangan masukan

peak-to-peak selalu hampir berimpit dengan bentuk gelombang arus masukan. Faktor daya pergeseran antara tegangan masukan dan arus masukan adalah 0,999. Terlihat bahwa bentuk gelombang arus mendekati sinusoidal murni, yang berarti bahwa arus masukan hampir tidak terdistorsi.

5. Kesimpulan

1. Sebuah penyearah MLP satu fasa jembatan penuh penaik tegangan dengan teknik kendali satu siklus telah dianalisa dan dibahas.

2. Hasil Simulasi memperlihatkan bahwa dengan menggunakan teknik kendali satu siklus dan sistem umpan balik, tegangan keluaran penyearah dapat dipertahankan konstan pada nilai yang diinginkan, meskipun tegangan masukan berubah-ubah dalam batasan tertentu.
 3. Bentuk gelombang tegangan masukan dan arus masukan selalu sefasa yang berarti bahwa faktor daya sistem selalu sama dengan satu.
 4. Pada saat tegangan keluaran konstan, perubahan magnituda tegangan masukan berbanding terbalik dengan magnituda arus masukan
 5. Dengan menggunakan teknik MLP pada penyearah, tegangan keluaran dapat dibuat lebih tinggi dari tegangan masukan tanpa menggunakan transformator.
- 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.
- Stihi, O., 1988, A Single Phase Controlled Current PWM Rectifier, IEEE Transaction on Power Electronics, Vol. 3, No.4, October, p.453-459.

6. Daftar Pustaka

- Hui, SYR.,*et.al.*, 2000, A Bidirectional AC-DC Power Converter with Power Factor Correction, IEEE Transaction on Power Electronics, Vol. 15 No.5, September, p.942-949.
- 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