

PERANCANGAN *MULTILEVEL BOOST CONVERTER* TIGA TINGKAT UNTUK APLIKASI SEL SURYA

Fariz Hasbi Arsanto^{*)}, Susatyo Handoko, and Bambang Winardi

Departemen Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro
Jl. Prof. Sudharto, Tembalang, Semarang, Indonesia

^{*)}Email: *farizhasbia@yahoo.com*

Abstrak

Sel surya merupakan salah satu sumber energi terbarukan dengan cara mengubah energi matahari menjadi energi listrik. Tegangan keluaran sel surya berada pada level rendah, sehingga perlu dinaikkan untuk keperluan pemakaian yang lebih luas. Konverter DC-DC merupakan salah satu rangkaian elektronika daya yang dapat digunakan sebagai regulator tegangan. Pada penelitian ini dilakukan eksperimen pengaruh duty cycle, pembebanan dan suplai DC terhadap tegangan keluaran multilevel boost converter. Tegangan masukan multilevel boost converter dapat berasal dari sel surya atau tegangan DC hasil penyearahan. Pengujian tegangan keluaran multilevel boost converter dengan suplai DC hasil penyearahan dilakukan dengan cara mengatur duty cycle pada rangkaian kontrol PWM. Untuk mengetahui efisiensi multilevel boost converter dilakukan dengan memvariasikan beban resistif, yaitu 100 Ω , 200 Ω dan 300 Ω . Pengujian tegangan keluaran multilevel boost converter dengan sel surya dilakukan pada duty cycle 20%. Berdasarkan hasil pengujian multilevel boost converter dengan suplai DC hasil penyearahan pada beban 100 Ω didapatkan tegangan tertinggi 43,16V (gain=4,9) dan efisiensi tertinggi 75,91%. Pada beban 200 Ω didapatkan tegangan tertinggi 59,6V (gain=6,85) dan efisiensi tertinggi 90,94%. Pada beban 300 Ω didapatkan tegangan tertinggi 74,7V (gain=7,86) dan efisiensi tertinggi 90,60%. Pada pengujian tegangan keluaran dengan sel surya pada duty cycle 20% didapatkan tegangan tertinggi 57,88V.

Kata kunci: Multilevel boost converter, sel surya, duty cycle

Abstract

Solar cell is one source of renewable energy by converting solar energy into electrical energy. Output voltage of a solar cell is at a low level, so it needs to be raised for the purpose of wider usage. DC-DC converter is a power electronics circuits can be used as a voltage regulator. This research did influence duty cycle, load and supply voltage multilevel DC boost converter. Input voltage multilevel boost converter can be derived from solar cells or the DC voltage rectification. Output voltage multilevel boost converter with a DC supply the results of rectification is done by regulating the duty cycle of PWM control circuit. To determine the efficiency of multilevel boost converter performed by varying a resistive load, ie 100 Ω , 200 Ω and 300 Ω . Output voltage multilevel boost converter with solar cells made on a duty cycle of 20%. Based on test results multilevel boost converter to supply DC rectification results at 100 Ω 43,16V obtained the highest voltage (gain = 4.9) and the highest efficiency of 75.91%. At 200 Ω obtained the highest voltage 59,6V (gain = 6.85) and the highest efficiency of 90.94%. At 300 Ω obtained the highest voltage 74,7V (gain = 7.86) and the ultimate efficiency of 90.60%. The output voltage with solar cells on a duty cycle of 20% obtained the highest voltage 57,88V.

Key word: Multilevel boost converter, solar cell, duty cycle

1. Pendahuluan

Kebutuhan energi listrik pada tiap tahun semakin meningkat, namun peningkatan kebutuhan ini tidak diimbangi dengan peningkatan kapasitas pembangkit yang dapat segera mengikuti peningkatan kebutuhan. Selain itu, ketersediaan bahan bakar fosil yang semakin menipis juga menjadi masalah untuk ketersediaan sumber

energi diwaktu yang akan datang. Salah satu cara untuk memenuhi kebutuhan energi adalah dengan menggunakan energi terbarukan.[1]

Energi terbarukan yang paling luas digunakan adalah sistem sel surya (*photovoltaic*), yang secara langsung mengubah cahaya matahari menjadi energi listrik.[2] Sel surya dapat menghasilkan listrik arus searah namun pada

level tegangan yang rendah, sehingga diperlukan suatu konverter yang dapat mengubah tegangan listrik arus searah ke level tegangan yang lebih tinggi untuk keperluan pemakaian sendiri atau untuk keperluan terhubung ke jaringan.[3]

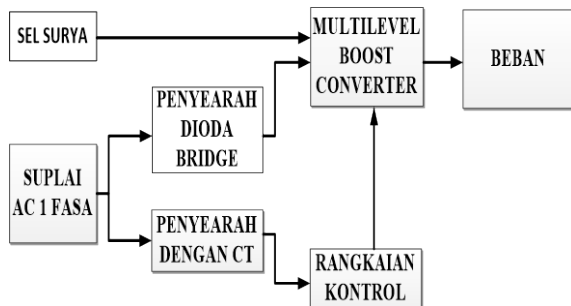
Seiring perkembangan zaman, konverter DC-DC ini mempunyai banyak aplikasi. Aplikasi yang sudah ada sekarang ini adalah konverter DC-DC sebagai catu daya DC yang dapat diregulasi. Suplai daya searah yang biasa digunakan adalah suplai daya searah tidak teregulasi. Dengan memanfaatkan komponen Elektronika daya yaitu MOSFET maka kita bisa mengatur besar keluaran dari daya searah [4].

Konverter DC-DC pada Penelitian ini tipe *multilevel boost converter*. Konverter DC-DC yang dibuat ini mampu menaikkan tegangan keluaran menjadi beberapa kali lebih tinggi dari tegangan masukan. *Multilevel boost converter* terdiri dari sebuah induktor, sebuah switch, 2N-1 dioda dan 2N-1 kapasitor, dengan N adalah jumlah tingkat [5].

2. Metode

2.1. Perancangan Perangkat Keras (Hardware)

Perancangan alat pada penelitian ini terdiri dari suplai AC 1 fasa, penyearah, konverter DC-DC tipe *multilevel boost converter* dan rangkaian kontrol. Gambar 1 menunjukkan blok diagram *multilevel boost converter*.

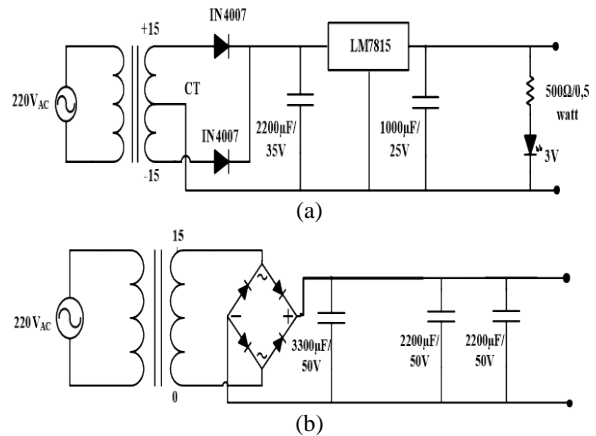


Gambar 1. Blok diagram alat

Suplai AC 1 fasa yang digunakan berasal dari jala-jala PLN. Penyearah digunakan menyearahkan sumber AC 1 fasa untuk suplai rangkaian kontrol dan rangkaian daya konverter DC-DC. keluaran sel surya dapat digunakan sebagai suplai *multilevel boost converter*.

2.2. Penyearah

Penyearah berfungsi sebagai pengubah tegangan bolak-balik (AC) menjadi tegangan searah (DC).[6] rangkaian penyearah ini digunakan untuk suplai rangkaian kontrol dan rangkaian daya konverter DC-DC. Rangkaian penyearah ditunjukkan pada Gambar 2.

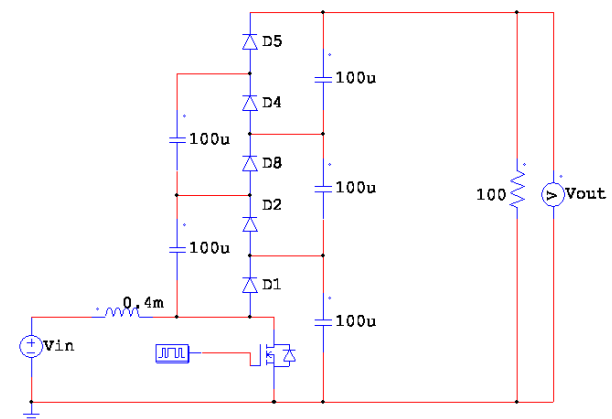


Gambar 2. (a) Rangkaian penyearah kontrol (b) Rangkaian penyearah daya

Gambar 2 menunjukkan rangkaian penyearah yang dilengkapi dengan kapasitor sebagai filter tegangan keluaran.

2.3. Multilevel Boost Converter

Multilevel boost converter digunakan sebagai penaik tegangan DC, sehingga tegangan keluaran yang dihasilkan lebih tinggi dari tegangan masukan. Gambar 3 menunjukkan rangkaian *multilevel boost converter*.



Gambar 3. Rangkaian *multilevel boost converter*

Gambar 3 menunjukkan rangkaian *multilevel boost converter* tiga tingkat. Berikut komponen-komponen penyusun yang digunakan:

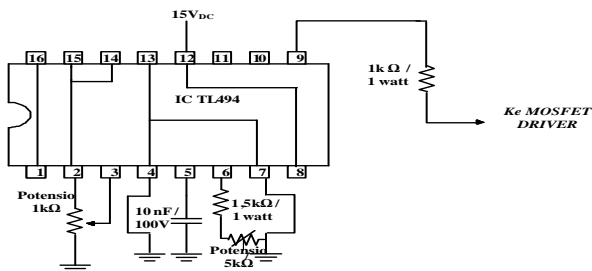
1. Sumber DC
Sumber DC yang digunakan untuk mensuplai rangkaian DC-DC konverter didapat dari sumber AC 12V yang disearahkan.
2. MOSFET
Tipe MOSFET yang digunakan adalah IRFP460 dengan kemampuan arus 20A dan tegangan 500V.[4]
3. Dioda

Dioda yang digunakan adalah MUR1560. Dioda ini dipilih karena mempunyai sifat *ultrafast recovery* dengan waktu pemulihan 60ns.[8]

4. Kapasitor
Kapasitor yang digunakan memiliki spesifikasi 100 μ F/250V.
5. Beban
Pada perancangan multilevel boost converter ini digunakan beban resistif sebagai beban.
6. Induktor
Induktor yang digunakan sebesar 0,4mH.

2.4. Rangkaian PWM

PWM digunakan untuk pemicuan MOSFET. Gambar 4 menunjukkan rangkaian PWM.

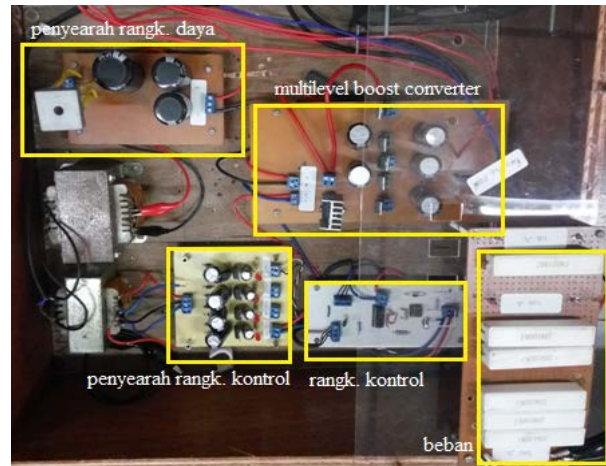


Gambar 4. Rangkaian PWM konverter DC-DC [8]

Frekuensi osilasi pada pemicuan ini diatur dengan kaki 5 (CT) dan 6 (RT) dari IC TL494, dimana RT adalah *Resistor Timing* dan CT adalah *Capacitor Timing*. Pada penelitian ini MOSFET *driver* digunakan sebagai penguat sinyal pemicuan untuk MOSFET.

3. Hasil dan Analisis

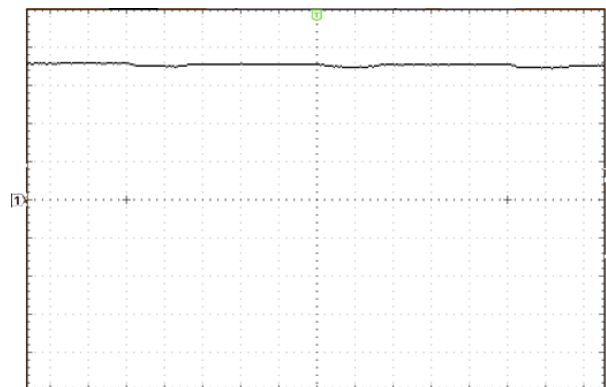
Hasil dan analisa pada BAB IV ini adalah pengujian *hardware* dan sistem pada *multilevel boost converter*. Pengujian ini bertujuan untuk melihat dan mengetahui kinerja sistem. Gambar 5 menunjukkan perangkat *multilevel boost converter*.



Gambar 5. Perangkat keras *multilevel boost converter*

3.1. Pengujian Tegangan Keluaran dengan Variasi Duty Cycle

Pengujian yang dilakukan bertujuan untuk mengetahui tegangan keluaran *multilevel boost converter* dengan menggunakan suplai DC hasil penyearahan dan beban resistif 100 Ω . Gelombang tegangan keluaran *multilevel boost converter* ditunjukkan pada Gambar 6.



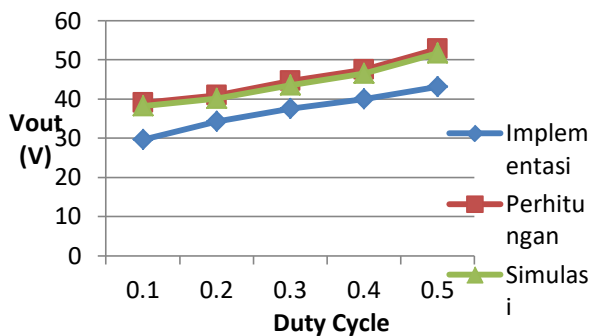
Gambar 6. Gelombang keluaran *multilevel boost converter* pada *duty cycle* 20%

Tabel 1 menunjukkan tegangan keluaran hasil pengujian dengan variasi *duty cycle*.

Tabel 1. Hasil pengujian multilevel boost converter

Vin (V)	Duty Cycle	Vout (V)			Beban (Ω)
		Implementasi	Perhitungan	Simulasi	
11,73	0,1	29,7	39,1	38,26	100
10,93	0,2	34,3	40,99	40,1	100
10,4	0,3	37,5	44,57	43,6	100
9,5	0,4	40	47,5	46,49	100
8,8	0,5	43,16	52,8	51,66	100

Pada Tabel 1 dapat diketahui bahwa nilai tegangan keluaran hasil implementasi berbeda dengan hasil perhitungan dan simulasi. Perbedaan ini dikarenakan karena adanya pengaruh dari ESR (Equivalent Series Resistance) dalam induktor. Berdasarkan Tabel 1 dapat dibuat grafik seperti pada Gambar 7.



Gambar 7. Grafik hubungan duty cycle dengan tegangan keluaran

Berdasarkan Tabel 1 dan Gambar 7 dapat diketahui bahwa semakin besar *duty cycle* maka nilai tegangan keluaran juga semakin besar.

3.2. Pengujian Tegangan Keluaran dengan Variasi Beban

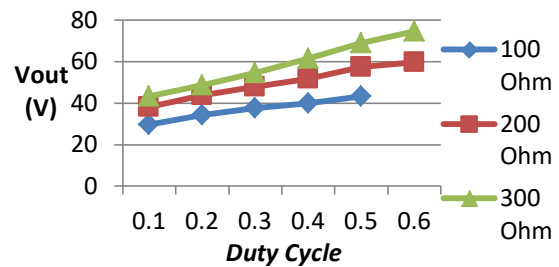
Pengujian pada tegangan keluaran dilakukan dengan variasi 100Ω, 200Ω dan 300Ω pada frekuensi 20kHz. Tabel 2 menunjukkan data hasil pengujian dengan variasi beban.

Tabel 2. Hasil pengujian tegangan keluaran variasi beban

Duty Cycle	R 100Ω		R 200Ω		R 300Ω	
	Vin	Vout	Vin	Vout	Vin	Vout
0,1	11,73	29,7	13	38	13,78	43,2
0,2	10,93	34,3	12,5	43,9	13,36	48,6
0,3	10,4	37,5	11,8	47,9	12,78	54,5
0,4	9,5	40	10,9	51,8	12,02	61,57
0,5	8,8	43,16	9,8	57,5	11,03	69,01
0,6	-	-	8,7	59,6	9,5	74,7

Berdasarkan Tabel 2 terlihat bahwa pada masing-masing pengujian terdapat *drop* tegangan masukan yang berbeda-beda. Hal itu dapat dilihat pada beban R 100Ω memiliki nilai tahanan R relatif kecil menunjukkan *drop* tegangan masukan yang cukup signifikan dibandingkan dengan beban R 200Ω dan R 300Ω. Oleh karena itu, arus yang masuk akan semakin besar jika beban R lebih kecil.

Hubungan antara *duty cycle* dan tegangan keluaran ditunjukkan pada Gambar 8.



Gambar 8. Grafik hubungan *duty cycle* dengan tegangan keluaran

Gambar 8 menunjukkan bahwa tegangan keluaran terendah terdapat pada beban 100Ω dan tegangan keluaran tertinggi pada beban 300Ω. Hal ini dikarenakan *drop* tegangan masukan pada beban 100Ω merupakan yang paling besar dibandingkan dengan beban 200Ω dan 300Ω.

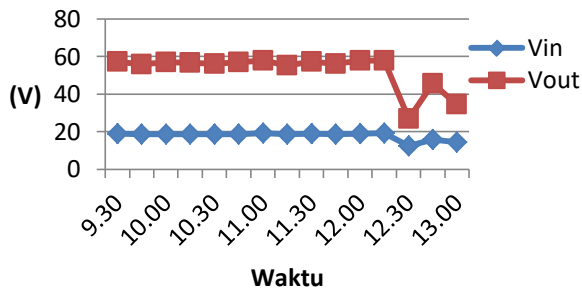
3.3. Pengujian Tegangan Keluaran dengan Sel Surya

Pada pengujian ini ada beberapa parameter yang dijaga tetap, yaitu beban, *duty cycle* 20%, beban resistif 100Ω dan frekuensi *switching* 20kHz. Tegangan masukan divariasikan dengan menggunakan tegangan yang dihasilkan sel surya. Tabel 3 menunjukkan data hasil pengujian dengan sel surya.

Tabel 3. Hasil pengujian tegangan keluaran dengan sel surya

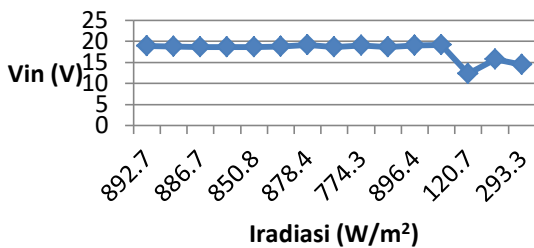
Jam	Vin (V)	Vout (V)	Iradiasi (W/m ²)
9.30	18,9	57,16	892,7
9.45	18,8	55,85	903,5
10.00	18,6	56,85	886,7
10.15	18,6	56,58	941,6
10.30	18,6	56,06	850,8
10.45	18,7	56,97	919,3
11.00	19,2	57,88	878,4
11.15	18,6	55,4	750,7
11.30	19,1	57,34	774,3
11.45	18,6	56,03	747,2
12.00	19,0	57,71	896,4
12.15	19,2	57,8	840,5
12.30	12,3	26,9	120,7
12.45	15,7	45,7	335,6
13.00	14,5	34,5	293,3

Berdasarkan Tabel 3 terlihat bahwa untuk menghasilkan tegangan keluaran yang bervariasi dilakukan dengan mengubah tegangan masukan. Hubungan tegangan dan waktu pada pengujian dengan sel surya ditunjukkan Gambar 9.



Gambar 9. Grafik hubungan waktu dan tegangan

Pada pengujian dengan sel surya tegangan masukan sangat bergantung dengan besarnya intensitas cahaya matahari. Semakin besar intensitas cahaya matahari yang diterima sel surya maka tegangan yang dihasilkan juga akan semakin besar. Gambar 10 menunjukkan grafik hubungan antara intensitas cahaya matahari dan tegangan masukan.



Gambar 10. Grafik hubungan tegangan masukan dengan intensitas cahaya matahari

Berdasarkan Gambar 10 terlihat bahwa hubungan antara intensitas cahaya matahari dan tegangan masukan tidak berbanding lurus. Hal ini dikarenakan pada saat dilakukan pengukuran intensitas cahaya matahari berubah-ubah.

3.4. Perhitungan Efisiensi Multilevel Boost Converter dengan Pengujian Variasi Beban

Efisiensi konverter DC-DC dapat dihitung dengan menghitung daya masuk (P_{IN}) dan daya keluaran (P_{OUT}) pada masing masing percobaan dengan menggunakan Persamaan 1.

$$\begin{aligned} P_{IN} &= V_{IN} \times I_{IN} \\ P_{OUT} &= V_{OUT} \times I_{OUT} \end{aligned} \quad (1)$$

Berikut Tabel 4, 5 dan 6 data perhitungan efisiensi *multilevel boost converter*.

Tabel 4. Perhitungan daya *multilevel boost converter* beban resistif 100Ω

Duty Cycle	V_{IN} (V)	I_{IN} (A)	V_{OUT} (V)	I_{OUT} (A)	η (%)
0,1	11,73	1,08	29,70	0,32	74,98
0,2	10,93	1,50	34,30	0,36	75,30
0,3	10,40	1,90	37,50	0,40	75,91
0,4	9,50	2,40	40,00	0,42	73,68
0,5	8,80	3,20	43,16	0,47	72,05

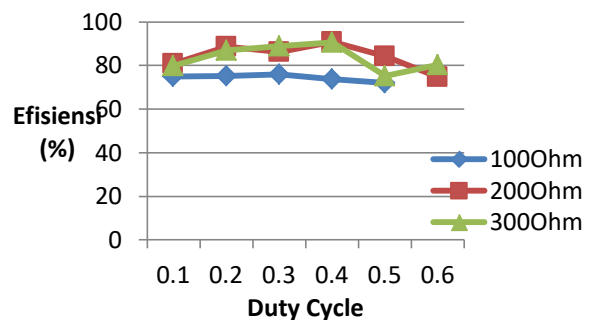
Tabel 5. Perhitungan daya *multilevel boost converter* beban resistif 200Ω

Duty Cycle	V_{IN} (V)	I_{IN} (A)	V_{OUT} (V)	I_{OUT} (A)	η (%)
0,1	13,00	0,76	38,00	0,21	80,77
0,2	12,50	0,99	43,90	0,25	88,69
0,3	11,80	1,27	47,90	0,27	86,26
0,4	10,90	1,62	51,80	0,31	90,94
0,5	9,80	2,30	57,50	0,33	84,21
0,6	8,70	3,21	59,60	0,35	74,69

Tabel 6. Perhitungan daya *multilevel boost converter* beban resistif 300Ω

Duty Cycle	V_{IN} (V)	I_{IN} (A)	V_{OUT} (V)	I_{OUT} (A)	η (%)
0,1	13,78	0,55	43,20	0,14	79,82
0,2	13,36	0,71	48,60	0,17	87,04
0,3	12,78	0,96	54,50	0,20	88,83
0,4	12,02	1,30	61,57	0,23	90,60
0,5	11,03	2,08	69,01	0,25	75,20
0,6	9,50	2,74	74,70	0,28	80,37

Berdasarkan hasil pengujian *multilevel boost converter* dengan suplai DC hasil penyearahan. Gambar 11 menunjukkan grafik hubungan *duty cycle* dan efisiensi pada 100Ω, 200Ω dan 300Ω.

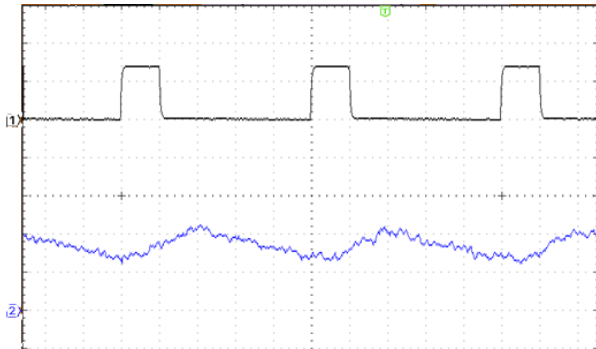


Gambar 11. Grafik hubungan *duty cycle* dan efisiensi

Pada beban 100Ω menghasilkan efisiensi tertinggi 75,91%, pada beban 200Ω menghasilkan efisiensi paling tinggi 90,94%, dan pada beban 300Ω menghasilkan efisiensi paling tinggi 90,60%.

3.5. Pengujian Gelombang Arus *Multilevel Boost Converter*

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui bahwa mode operasi pada *multilevel boost converter* adalah mode CCM (*Continuous Current Mode*). Pada pengujian ini digunakan frekuensi *switching* sebesar 20kHz dan *duty cycle* 20%. Gambar 12 menunjukkan gelombang arus pada *duty cycle* 20%.



Gambar 12. Gelombang arus *multilevel boost converter*

Berdasarkan Gambar 12 memperlihatkan bahwa arus berada diatas garis referensi. Dengan demikian *multilevel boost converter* sudah bekerja pada mode CCM (*Continuous Current Mode*).

4. Simpulan

Berdasarkan pada perancangan, pengujian dan analisis yang telah dilakukan didapatkan kesimpulan sebagai berikut:

- Multilevel boost converter* telah berhasil dibuat dan dapat menghasilkan tegangan keluaran lebih besar dari tegangan masukan dengan mengatur besar lebar pulsa (*duty cycle*) dari rangkaian kontrol PWM (*Pulse Width Modulation*).
- Pengukuran tegangan masukan *multilevel boost converter* dilakukan variasi *duty cycle* dengan interval 10%. Tegangan masukan memiliki nilai 17,4V dan seiring peningkatan *duty cycle* terjadi *drop* tegangan masukan. Penurunan terjadi pada beban resistif 100 Ω menjadi 8,8V pada *duty cycle* 50%, pada beban resistif 200 Ω menjadi 8,7V pada *duty cycle* 60% dan pada beban resistif 300 Ω menjadi 9,5V pada *duty cycle* 60%.
- Pengujian tegangan keluaran *multilevel boost converter* dilakukan variasi *duty cycle* interval 10% terjadi perbedaan hasil pada tiap beban, pada beban resistif 100 Ω mencapai 41,16V (gain = 4,9) pada *duty cycle* 50%, pada beban resistif 200 Ω mencapai 59,6V (gain = 6,85) pada *duty cycle* 60% dan pada beban resistif 300 Ω mencapai 74,7V (gain = 7,86) pada *duty cycle* 60%.
- Multilevel boost converter* telah diuji menggunakan sel surya sebagai suplai konverter DC-DC.

Berdasarkan pengujian pada *duty cycle* 20% dihasilkan tegangan keluaran paling tinggi 57,88V.

- Nilai efisiensi yang dihasilkan *multilevel boost converter* pada tiap-tiap beban berbeda. Pada pengukuran beban resistif 100 Ω memiliki nilai efisiensi maksimum sebesar 75,91%. Pada beban resistif 200 Ω memiliki nilai efisiensi maksimum sebesar 90,94%. Pada beban resistif 300 Ω memiliki nilai efisiensi maksimum sebesar 90,6%.
- Pengujian arus induktor menunjukkan bahwa *multilevel boost converter* dapat bekerja pada mode CCM.

Referensi

- K. M. Puneeth dan V. Nattasaru, "Modeling and Analysis of Three Level DC-DC Boost Converter for High Gain Applications", Mysore: SJCE, 2014.
- Luque-Antonio and Hegedus-Steven, "Handbook of Photovoltaic Science and Engineering", West Sussex: John Wiley and Sons, 2003.
- J. C. Mayo-Maldonado, R. Salas-Cabrera, H. Cisneros-Villegas, M. Gomez-Garcia, E. N. Salas-Cabrera, R. Castillo-Gutierrez and O. Ruiz-Martinez, "Modelling and Control of a DC-DC Multilevel Boost converter", *Proceedings of the World Congress on Engineering and Computer Science*, Oct, 2010.
- International Rectifier. 2007, *Single Channel Drive*
- Julio C. Rosas-Caro, Juan M. Ramirez and Pedro Martin Garcia-Vite, "Novel DC-DC Multilevel Boost Converter", Mexico: Power System Department Guadalajara Campus of CINVESTAV, 2008.
- M. H. Rashid, "Power Electronics Handbook", California : Academic Press, 2001.
- FAIRCHILD Semiconductor, MUR1560, 2002
- On Semiconductor. 2005, TL494, NCV494 Switchmode-Pulse Width Modulation.