

# PERANCANGAN *BOOST CONVERTER* MENGGUNAKAN *VOLTAGE FEEDBACK* PADA PANEL SURYA

Muhammad Alfin Assyidiq<sup>\*)</sup>, Bambang Winardi, and Trias Andromeda

Departemen Teknik Elektro, Universitas Diponegoro  
Jl. Prof. Sudharto, SH, Kampus UNDIP Tembalang, Semarang 50275, Indonesia

<sup>\*)</sup>*E-mail: alfin.pbg@gmail.com*

## Abstrak

Energi fosil adalah energi yang paling banyak digunakan, namun ketersediaan bahan bakar fosil semakin menipis. Energi terbarukan dapat digunakan sebagai salah satu pemenuhan energi. Panel surya adalah salah satu energi terbarukan yang bekerja dengan mengubah energi matahari menjadi energi listrik. Pemanfaatan panel surya biasanya dihubungkan langsung dengan beban tanpa konverter pada tegangan rendah. Digunakan boost converter untuk menaikkan tegangan DC. Tegangan keluaran panel surya tergantung pada iradiasi dan beban yang disuplai panel surya. Untuk menjamin tegangan keluaran panel surya konstan, diperlukan umpan balik tegangan pada konverter DC-DC. Pada Penelitian ini dirancang boost converter menggunakan umpan balik tegangan pada panel surya. Tahapan perancangan diawali menghitung komponen boost converter, verifikasi menggunakan software PSIM dan implementasi perangkat keras. Boost converter telah berhasil dibuat dan mampu menghasilkan tegangan keluaran lebih besar sebesar 21,9 – 41,8 volt. Penguatan boost converter dari duty cycle 0%-80% adalah 0,96 – 5,56. Dari pengujian menggunakan umpan balik tegangan variasi iradiasi, beban, iradiasi dari matahari, dan partial shading, tegangan keluaran konverter mampu dijaga konstan 24 volt dengan error rata-rata 0,36%, 0,35%, 0,95%, dan 0,11%. Efisiensi rata-rata boost converter tanpa umpan balik tegangan 85,37% dan dengan umpan balik tegangan 90,26%.

*Kata kunci: panel surya, boost converter, voltage feedback, PWM.*

## Abstract

Fossil energy is most widely used energy, but availability of fossil fuels running low. The use of renewable energy can be replace fossil fuels to supply energy. Solar panels are one of renewable energy that work by converting solar energy to electrical energy. Solar panel usually direct connected to load without converter at low voltage level. Boost converter is used to increase DC voltage. Characteristics of the solar panel output voltage depend on irradiation and load. To ensure output voltage from solar panel constant used voltage feedback. In this Final Project designed boost converter using voltage feedback on solar panel. Design begins with calculating components of boost converter, verifying using software PSIM and implementation on hardware. Boost converter has been successfully created and able to produce the output voltage of 21,9 – 41,8 volts. Boost converter gain from duty cycle 10% - 80% are 0.96 - 5.56. From the voltage feedback test using variations of irradiation variation, load, irradiation from sun, and partial shading, converter output voltage constant at 24 volts with average error 0,36%, 0,35%, 0,95%, and 0.11% . The average efficiency boost converter without voltage feedback is 85,37% and with voltage feedback 90,26%.

Keywords: photovoltaic, boost converter, voltage feedback, PWM

## 1. Pendahuluan

Energi fosil adalah energi yang paling banyak digunakan, namun ketersediaannya semakin menipis. Untuk mengantisipasinya, digunakan energi terbarukan. Energi matahari merupakan salah satu sumber energi baru dan terbarukan yang dapat digunakan untuk pembangkit listrik [1]. Pemanfaatan panel surya sebagai pembangkit biasanya dihubungkan langsung dengan beban pada *level* tegangan yang rendah, mengakibatkan tidak sesuai dengan tegangan yang diperlukan [2]. Diperlukan konverter yang mengubah

tegangan listrik DC ke *level* tegangan yang lebih tinggi. Salah satu konverter yang digunakan untuk menaikkan tegangan arus searah adalah *boost converter*. *Boost converter* dapat menghasilkan tegangan keluaran lebih besar dari tegangan masukan dengan mengatur sinyal PWM untuk mengatur penyaklaran MOSFET.

Karakteristik tegangan keluaran panel surya tergantung pada iradiasi dan beban panel surya. Selain itu, penggabungan panel surya menyebabkan perbedaan orientasi sinar matahari sehingga tegangan tiap panel berbeda [3]. Salah satu metode yang diterapkan untuk

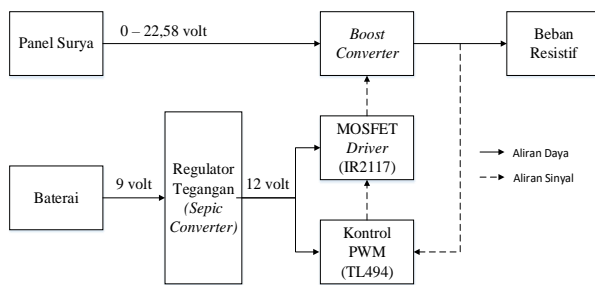
menjaga tegangan keluaran panel surya tetap konstan adalah menggunakan umpan balik tegangan.

Pada Penelitian ini dirancang *boost converter* menggunakan umpan balik tegangan pada aplikasi panel surya. Perancangan *boost converter* menggunakan umpan balik tegangan dilakukan dengan tahapan perhitungan komponen, verifikasi menggunakan *software* PSIM 9.0 dan diimplementasikan melalui hardware.

Tujuan Penelitian ini adalah merancang *boost converter*, mengetahui kinerja *boost converter* tanpa umpan balik tegangan dengan variasi frekuensi dan *duty cycle* dan dengan umpan balik tegangan dengan variasi iradiasi dan beban.

## 2. Metode

Perancangan Penelitian ini terdiri dari panel surya, rangkaian daya *boost converter*, rangkaian kontrol PWM dan beban.



Gambar 1. Blok Diagram Alat

### 2.1. Modul Panel Surya

Modul panel surya yang digunakan adalah panel surya *monocrystalline* 10 Wp dan 20 Wp.

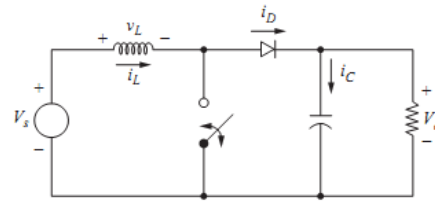
Tabel 1. Spesifikasi panel surya 10 Wp

Spesifikasi	Nilai
Daya maksimum	10 W
Tegangan operasi optimal ( $V_{mp}$ )	18 V
Arus operasi optimal ( $I_{mp}$ )	0,56 A
Tegangan hubung buka ( $V_{oc}$ )	21,7 V
Arus hubung singkat ( $I_{sc}$ )	0,59 A
Operasi temperatur	-40°C to +85°C

Tabel 2. Spesifikasi Panel Surya 20 Wp

Spesifikasi	Nilai
Daya maksimum	20 W
Tegangan operasi optimal ( $V_{mp}$ )	22,58 V
Arus operasi optimal ( $I_{mp}$ )	1,19 A
Tegangan hubung buka ( $V_{oc}$ )	18,82 V
Arus hubung singkat ( $I_{sc}$ )	1,08 A
Operasi temperatur	47±2°C

### 2.2. Rangkaian Daya Boost Converter



Gambar 2. Rangkaian Boost Converter

*Boost converter* bekerja pada dua mode. Mode pertama adalah saat MOSFET *on*, tegangan induktor sama dengan tegangan masukan. Dioda dalam kondisi pra-tegangan mundur. Induktor akan mulai menyimpan energi dalam bentuk energi magnetik. Energi yang tersimpan pada kapasitor digunakan untuk mensuplai beban.

$$V_L = V_{in} = L \frac{di_L}{dt}$$

$$\frac{\Delta I_L}{\Delta t} = \frac{\Delta i_L}{DT} = \frac{V_{in}}{L}$$

$$\Delta I_{L,ON} = \frac{V_{in}DT}{L} \quad (1)$$

Mode kedua adalah saat MOSFET *off*. Dioda pada kondisi pra-tegangan maju. Energi yang tersimpan pada induktor akan dialirkan melalui dioda untuk mengisi kapasitor dan mensuplai beban.

$$V_L = V_{in} - V_o$$

$$V_L = L \frac{di_L}{dt}$$

$$\left(\frac{di_L}{dt}\right) = \frac{V_{in}-V_o}{L}$$

$$\Delta I_{L,OFF} = \frac{(V_{in}-V_o)(1-D)T}{L} \quad (2)$$

Karena arus induktor konstan, maka dari persamaan (2) dan (3) didapatkan:

$$\Delta I_{L,OFF} + \Delta I_{L,ON} = 0$$

$$\frac{V_{in}DT}{L} + \frac{(V_{in}-V_o)(1-D)T}{L} = 0$$

$$V_{in} \times D = (V_o - V_{in}) \times (1 - D)$$

$$\frac{V_o}{V_{in}} = \frac{1}{(1-D)} \quad (3)$$

Tabel 3. Spesifikasi *boost converter*

Parameter	Nilai
Tegangan Masukan ( $V_s$ )	0 – 22,58 V <sub>DC</sub>
Frekuensi Pemicuan (f)	70 – 100 kHz
Duty Cycle (%)	10-80%
Hambatan Beban (R)	200 – 450 Ω
MOSFET	IRF540N
Dioda	1N5401
Induktor	590 μH
Kapasitor	100 μF / 160 V

Komponen penyusun *boost converter* ini antara lain:

1. Panel Surya dan baterai

Sumber yang dipakai untuk menyuplai rangkaian daya adalah panel surya dan baterai digunakan sebagai suplai rangkaian kontrol PWM dan MOSFET driver.

2. Saklar

Komponen pensaklaran yang digunakan adalah MOSFET. Pemilihan MOSFET mempertimbangkan nilai tegangan dan arus konverter. MOSFET yang dipakai adalah IRF540N yang mempunyai tegangan *drain source* ( $V_{DS}$ ) 100 volt dan arus *drain* ( $I_D$ ) maksimal 33 ampere [4]. MOSFET IRF540N aman untuk dipakai karena tegangan keluaran yang diinginkan sebesar 24 V<sub>DC</sub> dan arus maksimal suplai adalah 1,19 A.

3. Dioda

Dioda yang digunakan adalah IN5401. Dioda ini dipilih karena bersifat *fast recovery* yang mampu bekerja pada frekuensi 100 kHz. Dioda IN5401 memiliki kemampuan tegangan maksimal 100 volt dan arus hingga 3 ampere [5], sehingga aman diterapkan pada *boost converter*.

4. Induktor

Induktor yang digunakan merupakan induktor solenoida yang dibuat dari kawat tembaga yang dililitkan pada inti ferit. Perhitungan induktansi dapat diperoleh dengan persamaan [6]:

$$L_{min} = \frac{D_{min}(1-D_{min})^2 R_{max}}{2 f_{min}} \quad (4)$$

$$L_{min} = \frac{0,1(1-0,1)^2 450}{2 \times 70.000}$$

$$L_{min} = 260,35 \mu H$$

Agar *boost converter* bekerja pada mode operasi *Continuous Conduction Mode* (CCM), maka induktansi yang dibuat harus lebih besar dari induktansi minimal, sehingga induktansi yang digunakan sebesar 590 uH.

5. Kapasitor

Kapasitor berfungsi sebagai filter untuk membatasi *ripple* tegangan keluaran konverter. Kapasitor yang digunakan untuk perancangan *boost converter* ini memiliki *ripple* 1%. Besar kapasitor dapat dihitung dengan persamaan 2 berikut [6]:

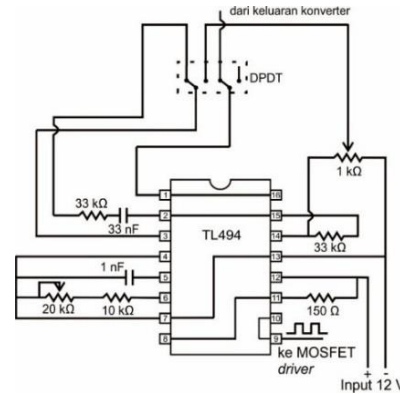
$$C_{min} = \frac{D_{max}}{\%V_r \cdot R_{min} \cdot f_{min}} \quad (5)$$

$$C_{min} = \frac{0,8}{0,01 \cdot 200 \cdot 70.000}$$

$$C_{min} = 5,71 \mu F$$

Pada realisasinya, kapasitor yang dipasang adalah 100 μF/ 160 V. Nilai kapasitansi sebesar 5,71 μF tidak dapat ditemukan di pasaran, sehingga dipilih nilai kapasitansi kapasitor di atas nilai perhitungan. Pemilihan nilai kapasitansi kapasitor yang lebih besar daripada nilai perhitungan bertujuan untuk mengurangi *ripple* tegangan keluaran.

2.3. Rangkaian Kontrol PWM



Gambar 3. Rangkaian PWM IC TL494

*Pulse Width Modulation* (PWM) digunakan untuk mengontrol kerja MOSFET. Pada Penelitian ini sinyal PWM dihasilkan dari IC TL494.

Nilai frekuensi osilasi pada rangkaian kontrol IC TL494 diatur oleh dua komponen yang dihubungkan dengan kaki 5 dan 6. Kaki 5 IC TL494 adalah *Resistor Timer* (RT) dan kaki 6 IC TL494 adalah *Capacitor Timer* (CT) [7].

$$f_s = \frac{1,1}{R_T \cdot C_T} \quad (6)$$

$$f_{osc(max)} = \frac{1,1}{10 \cdot 10^3 \cdot 10^{-9}} = 110 \text{ kHz } (R_{var} = 0 \Omega)$$

$$f_{osc(min)} = \frac{1,1}{30 \cdot 10^3 \cdot 10^{-9}} = 36,6 \text{ kHz } (R_{var} = 20 \text{ k}\Omega)$$

Pada perancangan umpan balik tegangan terdapat resistor pembagi tegangan pada keluaran konverter. Nilai resistor ditentukan dengan menggunakan persamaan [7]:

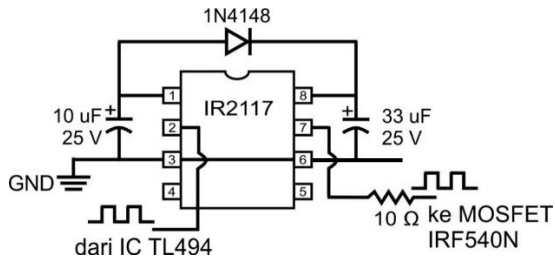
$$V_{OUT} = V_{REF} \left( 1 + \frac{R_1}{R_2} \right) \quad (7)$$

$$24 = 5 \left( 1 + \frac{R_1}{R_2} \right)$$

$$R_1 = 3,8 R_2$$

Nilai tegangan keluaran  $V_{OUT}$  sebesar 24 volt. Nilai tegangan referensi  $V_{REF}$  sebagai acuan pembandingan dengan tegangan pada pin 1 sebesar 5 volt. Perhitungan persamaan 4 didapat nilai  $R_1 = 3,8 R_2$ , sehingga untuk pemilihan resistor  $R_2 = 30 \text{ k}\Omega$  maka nilai resistor  $R_1 = 114 \text{ k}\Omega$ .

## 2.4. MOSFET Driver IR2117



Gambar 4. Rangkaian MOSFET driver IR2117

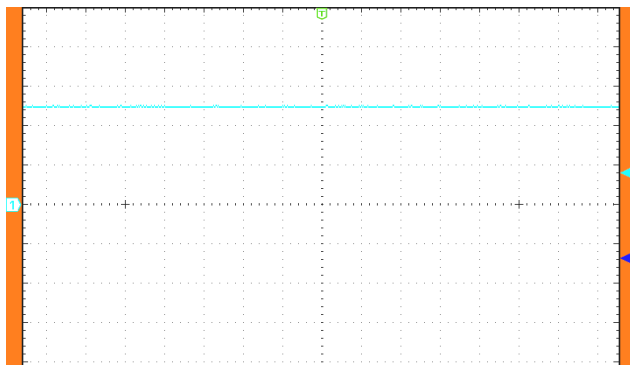
Sinyal pemicuan dari PWM IC TL494 diteruskan ke MOSFET melalui MOSFET driver IR2117. Pada driver ini terdapat kapasitor masukan 10 uF/25 V dan kapasitor keluaran 33 uF / 25 V serta dioda 1N4148. MOSFET driver ini digunakan karena memiliki satu keluaran pemicuan dan memiliki ground yang sama dengan konverter.

## 3. Hasil dan Analisa

### 3.1. Pengujian Rangkaian Kontrol PWM

Rangkaian kontrol pembangkit sinyal PWM yang digunakan pada Penelitian ini adalah IC TL494 dengan satu keluaran (*single-ended*). Pengujian dilakukan dengan melihat keluaran tiap penyusun rangkaian kontrol PWM.

Suplai rangkaian kontrol disuplai dari baterai yang diregulasi menggunakan modul *SEPIC converter*.



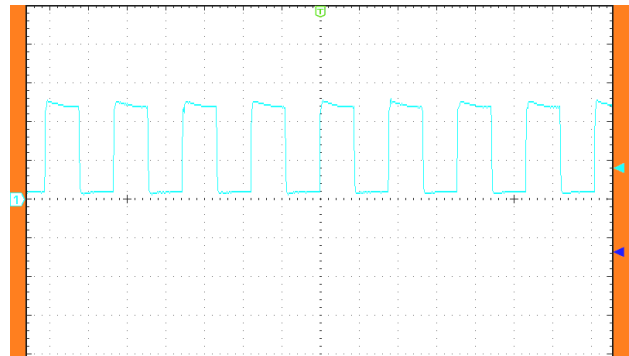
Gambar 5. Gelombang suplai rangkaian kontrol

Dari pengujian gelombang pada gambar 5, didapatkan tegangan:

$$V_{dc} = \text{div} \times \frac{V}{\text{div}} \quad (8)$$

$$V_{dc} = 2,4 \text{ div} \times \frac{5V}{\text{div}}$$

$$V_{dc} = 12 \text{ volt}$$

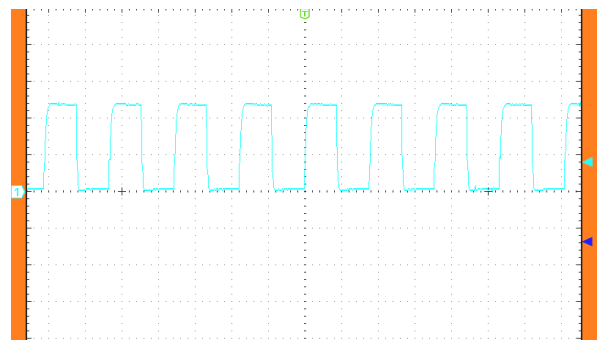


Gambar 6. Gelombang keluaran IC TL494

Keluaran IC TL494 pada pin 9 dan 10. Gambar 6 menunjukkan gelombang pada *duty cycle* 50%. Dari gelombang pada gambar 7, didapatkan tegangan:

$$V_{pp} = 2,4 \text{ div} \times \frac{5V}{\text{div}}$$

$$V_{pp} = 12 \text{ volt}$$



Gambar 7. Gelombang keluaran MOSFET driver IR2117

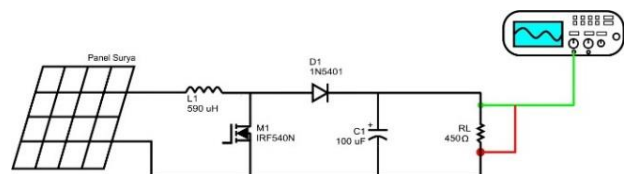
Gambar 7 merupakan gelombang keluaran MOSFET driver IR2117 ketika *duty cycle* 50% didapatkan tegangan:

$$V_{pp} = 2,4 \text{ div} \times \frac{5V}{\text{div}}$$

$$V_{pp} = 12 \text{ volt}$$

### 3.2. Pengujian Boost Converter tanpa Umpan Balik Tegangan

Pengujian tegangan keluaran *boost converter* dengan *umpan balik* dapat dilihat pada Gambar 8.



Gambar 8. Pengujian tegangan keluaran *boost converter* tanpa umpan balik

Penguatan tegangan keluaran *boost converter* dapat dihitung dengan persamaan:

$$|G| = \frac{V_{out}}{V_{in}} \quad (9)$$

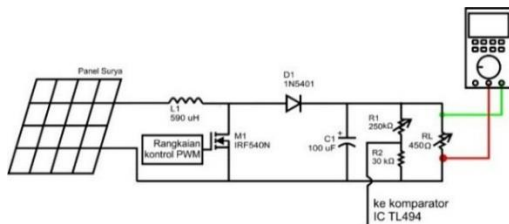
Pengujian dilakukan pada panel surya 10 Wp dan menghasilkan data seperti pada tabel 4 berikut.

**Tabel 4. Hasil pengujian *boost converter* tanpa umpan balik tegangan**

f (kHz)	D (%)	Vin (V)	Iin (A)	Vout (V)	Iout (A)	Gain
100	10	19,7	0,06	22,1	0,04	1,12
	20	19,6	0,07	24,5	0,05	1,25
	30	19,2	0,1	28,3	0,06	1,47
	40	18,9	0,13	32	0,07	1,69
	50	18,1	0,18	37,3	0,08	2,06
	60	16,5	0,25	41,8	0,09	2,53
	70	10,2	0,29	35,2	0,07	3,45
	80	3,9	0,3	21,7	0,04	5,56
70	10	19,7	0,05	21,9	0,04	1,11
	20	19,5	0,07	24,4	0,05	1,25
	30	19,2	0,09	27,4	0,06	1,43
	40	18,8	0,12	31,2	0,06	1,66
	50	18	0,17	36,1	0,07	2,01
	60	15,8	0,25	40,3	0,08	2,55
	70	9,4	0,28	32,9	0,07	3,50
	80	4	0,29	21,4	0,04	5,35

Pada Tabel 4 terlihat bahwa semakin besar *duty cycle*, maka semakin besar tegangan keluaran. Semakin besar frekuensi *switching*, maka semakin besar tegangan keluaran. Didapatkan hasil perhitungan penguatan tegangan keluaran *boost converter* didapatkan hasil semakin besar *duty cycle*, maka semakin besar penguatan tegangan keluaran.

### 3.3. Pengujian *Boost Converter* dengan Umpan Balik Tegangan

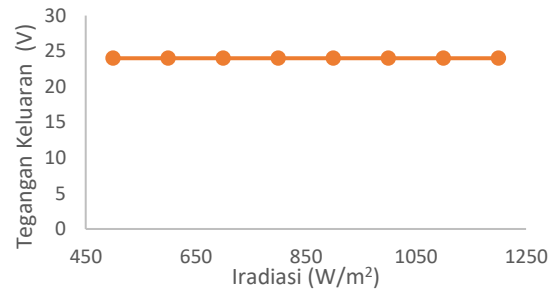


**Gambar 9. Pengujian tegangan keluaran *boost converter* dengan umpan balik tegangan**

Gambar 9 merupakan rangkaian pengujian tegangan keluaran *boost converter* dengan umpan balik tegangan variasi iradiasi dan beban menggunakan panel surya 10 Wp dan variasi iradiasi sinar matahari dan *partial shading* menggunakan panel surya 20 Wp. Hasil pengujian umpan balik tegangan variasi iradiasi dapat dilihat pada tabel 5 dan gambar 10 berikut.

**Tabel 5. Hasil pengujian umpan balik tegangan variasi iradiasi**

Irr (W/m <sup>2</sup> )	Vin (V)	Vout (V)	Iin (A)	Iout (A)	D (%)
500	17,6	24	0,07	0,05	27
600	17,6	23,9	0,07	0,05	26
700	18	23,9	0,07	0,05	25
800	18,1	23,9	0,07	0,05	24
900	18,1	23,9	0,07	0,05	24
1000	18,2	23,9	0,07	0,05	23
1100	18,1	23,9	0,07	0,05	22
1200	18	23,9	0,07	0,05	21



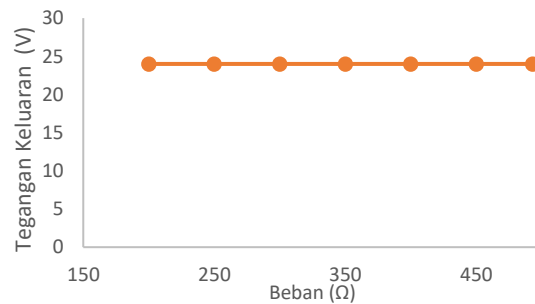
**Gambar 10. Grafik tegangan keluaran variasi iradiasi**

Dari tabel 5 dan gambar 10 terlihat bahwa tegangan keluaran konverter mampu dijaga konstan pada 24 volt dengan variasi iradiasi 500 – 1200 W/m<sup>2</sup> dengan *error* rata-rata 0,36%. Terlihat *duty cycle* PWM menurun untuk menjaga tegangan keluaran konverter konstan.

Hasil pengujian umpan balik tegangan variasi beban dapat dilihat pada tabel 6 dan gambar 11 berikut.

**Tabel 6. Hasil pengujian *boost converter* umpan balik tegangan variasi beban**

Beban (Ω)	Vin (V)	Vout (V)	Iin (A)	Iout (A)	Duty Cycle (%)	Pin (W)	Pout (W)	Efisiensi (%)
200	14,8	24	0,2	0,11	35	2,96	2,64	89,19
250	16	23,9	0,15	0,09	33	2,40	2,15	89,63
300	16,5	23,9	0,12	0,08	31	1,98	1,91	96,57
350	17,1	23,9	0,1	0,06	28	1,71	1,43	83,86
400	17,9	23,9	0,09	0,06	24	1,61	1,43	89,01
450	19,1	23,9	0,07	0,05	19	1,34	1,20	89,38
493	18,8	23,9	0,07	0,05	18	1,32	1,20	90,81



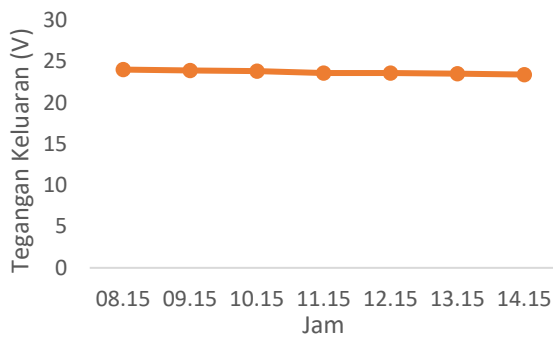
**Gambar 11. Grafik tegangan keluaran variasi beban**

Dari tabel 6 dan gambar 11 terlihat bahwa tegangan keluaran konverter mampu dijaga konstan pada 24 volt dengan variasi beban 200 – 493 Ω dengan *error* rata-rata 0,35%. Terlihat *duty cycle* berubah untuk menjaga tegangan keluaran tetap konstan.

Data hasil pengujian umpan balik tegangan variasi iradiasi matahari dapat dilihat pada tabel 7 dan gambar 12 berikut.

**Tabel 7. Hasil pengujian boost converter umpan balik tegangan variasi iradiasi matahari**

Jam	Iradiasi (W/m <sup>2</sup> )	V <sub>in</sub> (V)	V <sub>out</sub> (V)	V <sub>out</sub> NFB (V)	I <sub>in</sub> (A)	I <sub>out</sub> (A)
08.15	770	20,97	24	24	0,06	0,05
09.15	920	20,37	23,9	23,1	0,06	0,05
10.15	1140	20	23,8	22,8	0,06	0,05
11.15	1210	19,9	23,6	22,8	0,06	0,05
12.15	1160	19,6	23,6	22,6	0,07	0,05
13.15	1040	18,8	23,5	22,9	0,07	0,05
14.15	860	19,8	23,4	22,9	0,06	0,05



**Gambar 12. Grafik tegangan keluaran variasi iradiasi matahari**

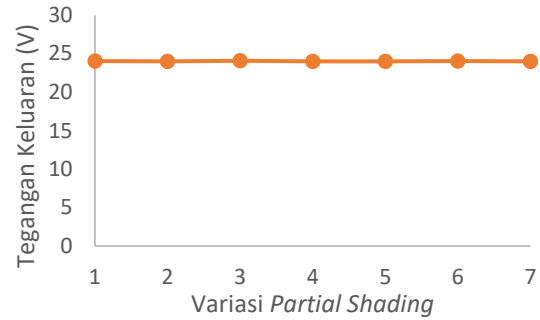
Dari tabel 7 dan gambar 12 terlihat tegangan keluaran konverter mampu dijaga konstan pada 24 volt dari pukul 08.15 – 14.15 dengan *error* rata-rata 0,95%.

Hasil pengujian umpan balik tegangan variasi *partial shading* dapat dilihat pada tabel 8 dan gambar 13 berikut.

**Tabel 8. Hasil pengujian boost converter umpan balik tegangan variasi partial shading**

Variasi Partial Shading	V <sub>in</sub> (V)	V <sub>out</sub> (V)	I <sub>in</sub> (A)	I <sub>out</sub> (A)
1	19,9	24,04	0,08	0,06
2	19,8	24,02	0,08	0,06
3	18,9	24,08	0,08	0,06
4	18,9	24	0,08	0,06
5	18,8	24	0,1	0,06
6	19	24,03	0,11	0,08
7	18,8	24,02	0,07	0,05

Dari tabel 8 dan gambar 13 tegangan keluaran konverter konstan 24 volt dengan variasi *partial shading* 1-7 dengan *error* rata-rata 0,11%.



**Gambar 13. Grafik tegangan keluaran variasi partial shading**

### 3.4. Efisiensi Konverter

Efisiensi *boost converter* dapat dicari dengan menghitung daya *input* ( $P_{in}$ ) dan daya *output* ( $P_{out}$ ) dengan menggunakan Persamaan 10 berikut:

$$\eta = \frac{P_{OUT}}{P_{IN}} \times 100 \% \quad (10)$$

Dari hasil perhitungan efisiensi pada pengoperasian tanpa dan dengan umpan balik tegangan, didapatkan hasil perhitungan efisiensi rata-rata yang ditunjukkan pada tabel 9 berikut.

**Tabel 9. Hasil perhitungan efisiensi boost converter**

Tanpa Voltage Feedback	Dengan Voltage Feedback			
	Var. Irr	Var. Beban	Var. Irr Sinar Matahari	Var. Partial Shading
85,37%	95,1%	89,7%	94,9%	90,3%

Efisiensi rata-rata *boost converter* tanpa umpan balik tegangan sebesar 85,37%. Efisiensi rata-rata *boost converter* dengan umpan balik tegangan sebesar 92,5%.

## 4. Kesimpulan

*Boost converter* berhasil dibuat dan dapat digunakan untuk menaikkan tegangan keluaran dengan menjaga tegangan keluaran tetap konstan pada level iradiasi dan beban yang berbeda. Pada percobaan tanpa umpan balik tegangan, semakin besar *duty cycle*, semakin besar tegangan keluaran *boost converter*. Selain itu, semakin besar frekuensi pemucuan, semakin besar tegangan keluaran *boost converter*. Penguatan tegangan keluaran semakin besar seiring dengan kenaikan *duty cycle*. Pada pengujian umpan balik tegangan variasi iradiasi, beban, iradiasi matahari dan *partial shading*, tegangan keluaran mampu dijaga konstan 24 volt dengan *error* rata-rata sebesar 0,36%, 0,35%, 0,95%, dan 0,11%. Efisiensi *boost converter* pada pengujian tanpa umpan balik tegangan rata-rata 85,3%. Efisiensi rata-rata *boost converter* pada pengujian umpan balik tegangan variasi iradiasi sebesar 95,1%, variasi beban 89,7%, variasi iradiasi sinar matahari

94,99% dan variasi *partial shading* sebesar 90,3%. Efisiensi rata-rata seluruh pengujian umpan balik tegangan sebesar 92,5%.

Penelitian ini dapat dikembangkan dengan perancangan suplai daya menggunakan energi terbarukan lain, menggunakan topologi konverter lain, menambahkan fitur resonan, menggunakan pemicuan PWM mikrokontroler, umpan balik arus dan pengaplikasian pada motor dan lampu LED.

## **Referensi**

- [1]. L. Antonio dan H. Steven, *Handbook of Photovoltaic Science and Engineering*, West Sussex: John Wiley & Sons, 2003
- [2]. S. Muhammad, "Pemanfaatan Solar Cell Sebagai Pembangkit Listrik Terbarukan," *Jurnal Teknik*, vol. 27, no. 3, Okt. 2014
- [3]. X. Xiaoli dan Q. Daoc, "Remote Monitoring and Control of Photovoltaic System Using Wireless Sensor Network", International Conference on Electric Information and Control Engineering (ICEICE), Wuhan, China, 15-17 April 2011, pp. 633-638.
- [4]. *IRF540N HEXFET Power MOSFET*, International Rectifier, 2001
- [5]. *1N5401 – 1N5408 General-Purpose Rectifiers*, On Semiconductor, 2015
- [6]. W. H. Daniel "Introduction to Power Electronics," Indiana: Printice-Hall International, 1997
- [7]. *TL494 Pulse-Width-Modulation Control Circuit*, Texas Instruments, Texas, 2015