

# PERANCANGAN KONVERTER ARUS SEARAH BUCK PADA THERMOELECTRIC GENERATOR

Yordan Raka Siwi<sup>\*)</sup>, Mochammad Facta dan Bambang Winardi

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

<sup>\*)E-mail: yordanrakasiwi11@gmail.com</sup>

## Abstrak

Energi fosil adalah energi yang paling banyak digunakan, namun ketersediaan bahan bakar fosil semakin menipis. Energi terbarukan dapat digunakan sebagai salah satu alternatif pemenuhan energi. Termoelektrik adalah salah satu energi terbarukan yang bekerja dengan mengubah panas menjadi energi listrik. Pemanfaatan Termoelektrik biasanya dihubungkan langsung dengan beban tanpa konverter pada tegangan rendah sehingga tegangan keluaran tidak bisa dikontrol. Digunakan buck converter untuk menurunkan tegangan DC. Tegangan keluaran termoelektrik tergantung pada perbedaan suhu diantara permukaan modul dan beban yang disuplai termoelektrik. Pada penelitian ini dirancang buck converter tanpa menggunakan umpan balik tegangan. IC TL494 digunakan sebagai pengatur tegangan keluaran buck converter dengan mengatur lebar pita duty cycle sehingga tegangan keluaran dapat disesuaikan dengan kebutuhan. Pada penelitian ini, dilakukan pengujian konverter yaitu tanpa umpan balik tegangan dengan variasi duty cycle dan beban. Pengujian konverter tanpa umpan balik tegangan pada variasi beban 15,32 $\Omega$ , 52 $\Omega$ , 100 $\Omega$  menghasilkan penurunan tegangan sebesar 3,39V, 6,49V, dan 7,57V pada nilai duty cycle 10% - 87%. Efisiensi tertinggi buck converter pada beban 15,32 $\Omega$ , 52 $\Omega$ , dan 100 $\Omega$  secara berturut-turut sebesar 81,2%, 88,5%, dan 82,8%.

*Kata kunci: Termoelektrik, Konverter arus searah buck, IC TL494*

## 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. Thermoelectric is one of of renewable energy who works with a change of heat to become the electric energy. The utilization of thermoelectric usually connected is directly to the load without converter equipment on of a low voltage so that an output voltage cannot be control. The use of buck converter for step down DC voltage. An output voltage of thermoelectric depends on a difference in temperature of the surface of module and the load that supplied by thermoelectric. In this final assignment has been designed buck converter without voltage feedback. IC TL494 used as output voltage controller with set the wide of duty cycle's tape and loads. Testing of the converter without voltage feedback at load 15,32 $\Omega$ , 52 $\Omega$ , and 100 $\Omega$  produce voltage decrease respectively 3,39V, 6,46V, and 7,57V at duty cycle 10% to 87%. The highest efficiency of buck converter at load 15,32 $\Omega$ , 52 $\Omega$ , and 100 $\Omega$  is 81,2%, 88,5%, and 82,8% respectively.

*Keywords: Thermoelectric, Buck converter, IC TL49*

## 1. Pendahuluan

Sumber energi fosil adalah sumber energi yang paling banyak digunakan saat ini, namun ketersediaan bahan bakar fosil semakin menipis[1]. Energi panas merupakan salah satu sumber energi baru dan terbarukan yang dapat digunakan sebagai pembangkit listrik. Salah satu teknologi yang mampu mengonversi energi panas menjadi energi listrik adalah sel *thermoelectric*. Sel *thermoelectric* memiliki beberapa keuntungan, seperti biaya operasional yang rendah, pemasangan yang mudah, dan ramah lingkungan [2]. Pemanfaatan sel *thermoelectric* sebagai pembangkit dapat dihubungkan pada suatu konverter arus

searah yang dapat mengubah tegangan listrik arus searah ke *level* tegangan yang lebih rendah[3].

Penggabungan beberapa sel *thermoelectric* dengan susunan seri antar modul akan menghasilkan tegangan keluaran yang lebih besar. Pada penelitian [4] diuraikan daya yang dihasilkan oleh empat modul *thermoelectric* semakin meningkat sesuai dengan temperatur suhu yang bekerja. Pada penelitian [5] diuraikan pemanfaatan modul TEC sebagai pendingin dengan kapasitas beban yang kecil.

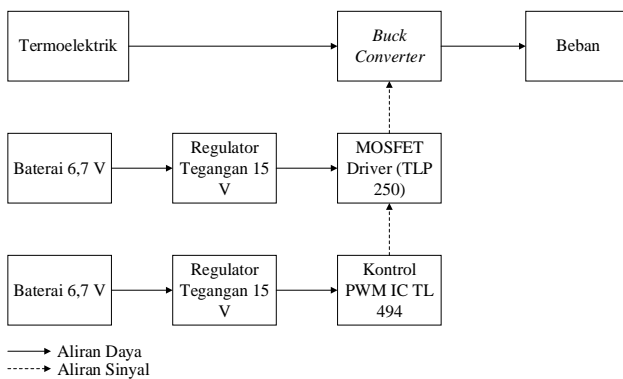
Salah satu metode yang diterapkan untuk mengatur tegangan keluaran dari *thermoelectric generator* adalah *buck converter*. Tegangan yang dihasilkan oleh rangkaian

*buck converter* dapat diatur *duty cycle* nya supaya tegangan keluaran sesuai dengan kebutuhan. Pada penelitian [6] dibahas *buck converter*, namun belum menggunakan sumber tegangan yang berasal dari energi terbarukan. Pada penelitian [7] dibahas konverter arus searah tipe buck untuk mengisi akumulator namun belum diaplikasikan pada *thermoelectric*. Pada penelitian [8] dibahas konverter arus searah tipe zeta menggunakan pembangkit PWM IC TL494 dengan menggunakan DPDT (*Double Pole Double Throw*).

Berdasarkan penelitian sebelumnya, pada penelitian ini dirancang *buck converter* tanpa menggunakan umpan balik tegangan pada aplikasi modul TEC dengan maksud untuk mengetahui pengaruh keluaran dari *buck converter* terhadap perubahan *duty cycle* dan beban.

## 2. Metode

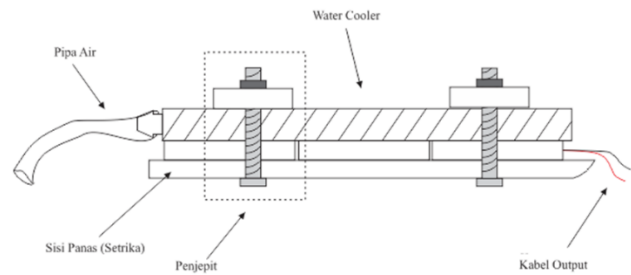
Perancangan penelitian ini terdiri dari rangkaian pembangkit listrik modul termoelektrik, rangkaian converter arus searah tipe buck, rangkaian control pembangkit PWM, dan beban.



Gambar 1. Blok diagram alat

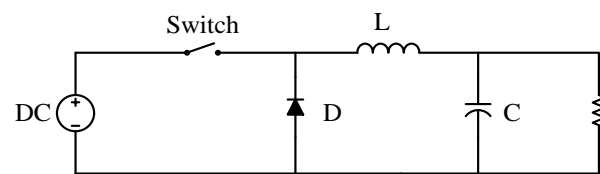
### 2.1. Modul Termoelektrik

Modul termoelektrik yang digunakan pada perancangan ini adalah modul termoelektrik tipe TEC1-12706[10]. Modul TEC1-12706 ini akan menghasilkan energi listrik apabila pada sisi-sisinya diberikan suhu yang berbeda, maka pada perancangan ini digunakan setrika dan aliran air yang dilewakan melalui dua buah *water cooler*. Setrika sebagai sumber panas yang sudah diatur besaran suhunya dengan tidak melebihi spesifikasi dari modul TEC1-12706. Sedangkan aliran air adalah sebagai sumber suhu dingin, aliran air ditopang oleh satu buah pompa DC dengan tegangan 5 volt.



Gambar 2. Rancangan modul termoelektrik

### 2.2. Rangkaian Daya Buck Converter



Gambar 3. Buck converter

Converter arus searah tipe *buck* ini digunakan sebagai penyedia daya DC untuk suplai beban pada penelitian ini. Komponen – komponen penyusun yang dihunikan pada converter arus searah tipe *buck converter* antara lain :

#### 1. Termoelektrik dan baterai

Sumber yang dipakai untuk suplai rangkaian daya adalah tegangan keluaran sel termoelektrik dan baterai digunakan sebagai suplai 15V rangkaian control PWM dan MOSFET driver.

#### 2. Saklar

Komponen pensaklaran yang digunakan adalah MOSFET. Pemilihan MOSFET yang dipakai adalah IRFZ44N yang mempunyai tegangan *drain source* ( $V_{DS}$ ) 55V dan arus *drain* ( $I_{DS}$ ) 49 A[11]. MOSFET IRFZ44N aman dipakai karena tegangan keluaran yang diinginkan adalah 5 V dan arus maksimal 1 A.

#### 3. Dioda

Dioda tipe MUR1560 dipilih karena merupakan dioda *fast recovery* yang memiliki waktu pemulihan sebesar 35 – 65 ns dan dapat bekerja pada frekuensi 60 Hz. Dioda MUR1560 mampu menghantarkan arus sebesar 15 amper dan tegangan sebesar 600 volt [12]. Sehingga dioda ini cocok diterapkan pada *buck converter*.

#### 4. Induktor

Induktor yang digunakan pada konverter arus searah ini diperhitungkan nilainya untuk disesuaikan dengan parameter lain yang berhubungan. Induktor yang digunakan merupakan induktor jenis toroida yang dibuat dari kawat tembaga yang dililitkan pada inti toroida

$$L_{min} = \frac{(1-D)R}{2f} = \frac{(1-0.5)100}{2.20000} = 1,25 \text{ mH}$$

Jadi dari perhitungan diatas maka dipilih induktor dengan nilai 1,5 mH. Pemilihan nilai induktor lebih besar dari nilai induktor minimal ( $L > L_{min}$ ) agar *Buck Converter* bekerja pada *Continuous Conduction Mode* (CCM)[3].

5. Kapasitor

Kapasitor yang digunakan untuk perancangan *buck converter* ini mempunyai nilai 470  $\mu$ F. Hal ini dilakukan untuk mendapatkan tegangan *ripple* puncak ke puncak kapasitor ( $\Delta V_o$ ) yang kecil. Nilai *duty cycle* (*D*) yang digunakan sama dengan nilai *D* pada perhitungan inductor

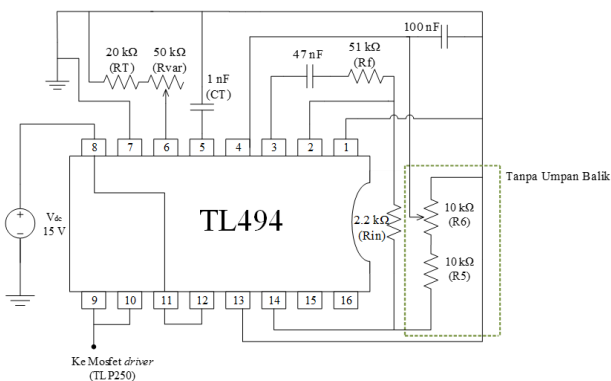
$$C = \frac{1-D}{8 L \left(\frac{\Delta V_o}{V_o}\right)^2} = \frac{1-0.5}{8 \cdot 1,2 \times 10^{-3} \left(\frac{0.05}{5}\right)^2} = 13,02 \mu F$$

Pada perhitungan kapasitor didapat nilai kapasitansi kapasitor sebesar 13,02  $\mu$ F. Pada realisasinya kapasitor yang dipasang adalah 470  $\mu$ F. Nilai kapasitansi sebesar 13,02  $\mu$ F tidak dapat ditemukan di pasaran, sehingga dipilih nilai kapasitansi kapasitor di atas nilai perhitungan yaitu sebesar 470  $\mu$ F dengan tegangan minimum 35 volt. Pemilihan kapasitor yang digunakan lebih besar dari nilai kapasitansi kapasitor perhitungan untuk mengurangi *ripple* tegangan keluaran.

Tabel 1. Spesifikasi *buck onverter*

Parameter	Nilai Besaran
Tegangan Masukan	10 V
Induktor	1.2 mH
Kapasitor	470 $\mu$ F
Dioda	MUR1560
Resistor	100 $\Omega$

2.3. Rangkaian Kontrol PWM



Gambar 4. Rangkaian kontrol IC TL494 tanpa umpan balik tegangan

PWM (*Pulse With Modulation*) 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 pin 5 dan 6. Pin 5 IC TL494 adalah *Resistor Timer* (RT) dan pin 6 IC

TL494 adalah *Capacitor Timer* (CT). Besar frekuensi osilasi maksimal dari rangkaian PWM dapat ditentukan dengan Persamaan dibawah ini [9].

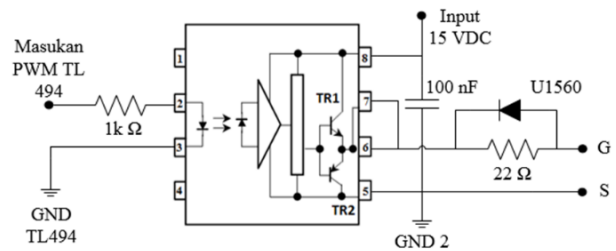
$$f = \frac{1,1}{R_t \cdot C_t}$$

$$f_{osc(max)} = \frac{1,1}{20000 \times 1 \times 10^{-9}} = 55 \text{ kHz } (R_{var} = 0 \Omega)$$

$$f_{osc(min)} = \frac{1,1}{70000 \times 1 \times 10^{-9}} = 15714 \text{ Hz } (R_{var} = 50 \text{ k}\Omega)$$

2.4. MOSFET Driver TLP250

Rangkaian TLP250 digunakan untuk mengisolasi dan menguatkan sinyal PWM (*Pulse Width Modulation*). Level tegangan 15 V yang dibangkitkan PWM menjadi level tegangan yang sama atau lebih tinggi dengan sistem *ground* terpisah (level tegangan 15 V) dan cukup untuk memicu MOSFET (*Metal Oxide Semiconductor Field Effect Transistor*).

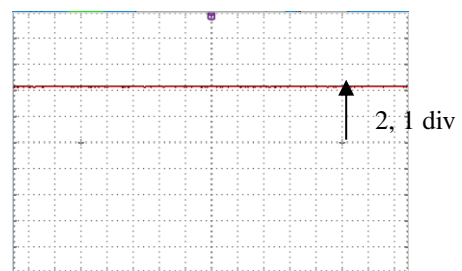


Gambar 5. Rangkaian MOSFET driver

3. Hasil dan Analisis

3.1. Pengujian Sumber Tegangan

Pengujian sumber tegangan dilakukan untuk mengetahui besar nilai sumber tegangan yang dihasilkan dari sel – sel termoelektrik. Pengujian ini dilakukan pada kaki positif dan negatif dari keluaran enam buah sel termoelektrik yang dipasang secara seri dengan menggunakan osiloskop untuk melihat gelombang tegangan keluaran



Gambar 6. Gelombang tegangan keluaran sel termoelektrik

Dari gambar pengujian gelombang pada Gambar 6 didapatkan tegangan:

$$V_{dc} = \text{DIV} \times \frac{V}{\text{DIV}}$$

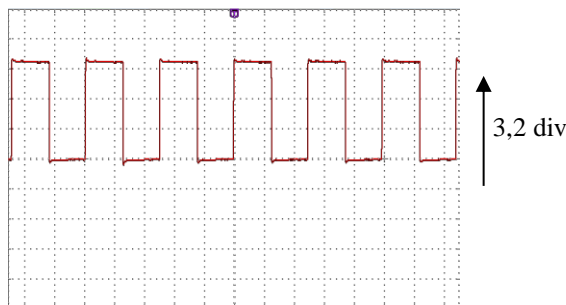
$$V_{dc} = 2,1 \times \frac{5V}{\text{div}}$$

$$V_{dc} = 10,5 V$$

### 3.2. Pengujian Rangkaian Kontrol PWM dengan MOSFET Driver

Pengujian rangkaian kontrol pembangkit sinyal PWM berbasis IC TL494 dengan umpan balik dari keluaran *buck converter*. Pengujian dilakukan pada keluaran TLP250 sebagai *driver* rangkaian kontrol pembangkit sinyal PWM IC TL494. Sinyal PWM digunakan untuk memicu MOSFET pada rangkaian *buck converter*. Pengujian dilakukan menggunakan osiloskop OWON dengan cara menghubungkan probe tegangan positif dengan keluaran MOSFET *Driver*, serta negatifnya dihubungkan ke *ground*.

Tujuan pengujian gelombang keluaran sinyal PWM IC TL494 dengan *driver* TLP250 adalah untuk mengetahui bentuk gelombang sinyal pemucuan MOSFET pada *buck converter*. Pengujian ini dilakukan pada saat kondisi *buck converter* off, saat kondisi *buck converter* on dengan beban 15,32 Ω.



Gambar 7. Gelombang keluaran rangkaian control PWM *duty cycle* 50%

Gambar 7 merupakan gelombang kotak untuk pemucuan MOSFET dari IC TL494 dengan *duty cycle* 50%. *Duty cycle* 50% berarti waktu *on* dari MOSFET saat dipicu hanya 50% dari satu periode gelombang pemucuan. Digunakan skala ukur 5 V/div dengan faktor pengali 1x dan waktu 5 μs/div. Besar tegangan *peak to peak* keluaran IC TL494 sebesar 2,4 div sehingga nilai tegangan *peak to peak* keluaran IC TL494 dapat diketahui dengan perhitungan.

$$V_{pp} = 3,2 \text{ div} \times \frac{5V}{\text{div}} = 16 V$$

### 3.3. Pengujian Rangkaian Buck converter tanpa umpan balik tegangan

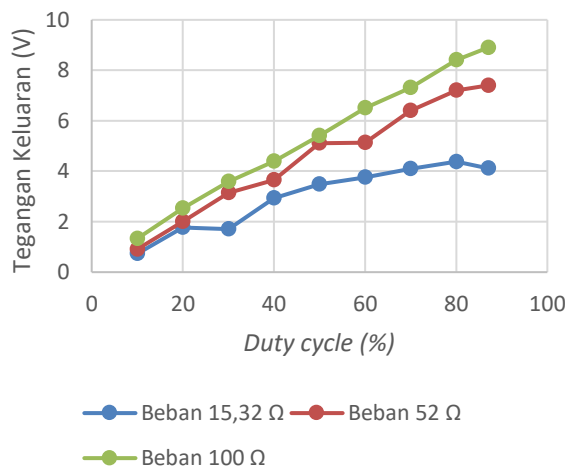
Pengujian *buck* konverter dilakukan dengan cara melihat tegangan masukan dan keluaran saat dilakukan perubahan nilai *duty cycle* dan perubahan nilai beban. Sumber tegangan yang digunakan adalah enam buah sel termoelektrik tipe TEC1-12706 dan beban yang digunakan adalah variasi beban dari 15,32Ω - 100Ω. Variasi *duty cycle* yang digunakan dalam pengujian *buck converter* adalah 10%, 20%, 30%, 40%, 50%, 60%, 70%, 80%, dan 87%. Tegangan keluaran dari *buck converter* adalah sebagai berikut.

Tabel 2. Hasil pengujian tegangan keluaran *buck converter*

R (Ω)	D (%)	Vin (V)	Vout (V)		
			Hitung	Simulasi	Ukur
15,32 Ω	10	13.4	1.34	1.34	0.73
	20	12.9	2.58	2.58	1.77
	30	12.1	3.63	3.63	1.7
	40	10.7	4.28	4.29	2.94
	50	10.8	5.4	5.41	3.48
	60	9	5.4	5.41	3.75
	70	8.4	5.88	5.88	4.1
	80	6.8	5.44	5.44	4.38
	87	6.3	5.48	5.48	4.12
52 Ω	10	13.2	1.32	1.32	0.91
	20	12.8	2.56	2.56	2
	30	12.4	3.72	3.72	3.15
	40	11	4.4	4.4	3.65
	50	11.6	5.8	5.8	5.1
	60	10	6	6	5.14
	70	10.6	7.42	7.42	6.4
	80	9.7	7.76	7.76	7.2
	87	9	7.83	7.83	7.4
100 Ω	10	12.6	1.26	1.26	1.33
	20	12.5	2.50	2.50	2.53
	30	12.3	3.71	3.71	3.58
	40	12.2	4.89	4.89	4.4
	50	11.9	5.95	5.95	5.4
	60	11.7	7.02	7.02	6.5
	70	11.2	7.84	7.84	7.3
	80	10.8	8.64	8.64	8.4
	87	10.8	9.39	9.39	8.9

Pada Tabel 2 dapat dilihat bahwa tegangan keluaran rangkaian *buck converter* paling besar adalah pada beban 100Ω dengan *duty cycle* 87% dan tegangan terendah adalah pada beban 15,32 Ω dengan *duty cycle* 10%. Nilai tegangan hasil ukur tertinggi pada beban 15,32 Ω adalah 4,12 volt pada *duty cycle* 87%. Pada beban 52 Ω nilai tegangan keluaran tertinggi adalah pada *duty cycle* 87 %, nilai tegangan hasil perhitungan, simulasi, dan pengukuran berturut – turut adalah sebagai berikut 7,83 V; 7,83 V; dan 7,4 V. Pada beban 52 Ω nilai tegangan keluaran terendah adalah pada *duty cycle* 10 %, nilai tegangan hasil perhitungan, simulasi, dan pengukuran

berturut – turut adalah sebagai berikut 1,32 V; 1,32 V; dan 0,91 V. Pada beban 100 Ω nilai tegangan keluaran terendah adalah pada *duty cycle* 10 %, nilai tegangan hasil perhitungan, simulasi, dan pengukuran berturut – turut adalah sebaga berikut 1,26 V; 1,26 V; dan 1,33 V. Pada beban 100 Ω nilai tegangan keluaran tertinggi adalah pada *duty cycle* 87 %, nilai tegangan hasil perhitungan, simulasi, dan pengukuran berturut – turut adalah sebaga berikut 8,36 V; 9,36 V; dan 8,9 V. Perbandingan variasi *duty cycle* dan beban dengan tegangan keluaran hasil perhitungan, simulasi dan pengukuran ditunjukkan dapat ditunjukkan pada gambar berikut.



Gambar 8. Perbandingan tegangan keluaran buck converter beban 15,32Ω; 52Ω, dan 100Ω

Pada Gambar.8 ditunjukkan grafik hubungan *duty cycle* terhadap tegangan keluaran pengukuran. Terlihat bahwa tegangan terendah terjadi rata – rata pada beban 15,32 Ω dan tegangan tertinggi terjadi rata – rata pada beban 100 Ω. Pada beban 15,32 Ω terjadi beberapa penurunan tegangan pada *duty cycle* 30% dan 87%. Pada nilai beban 100 Ω dan 52 Ω tegangan keluaran yang dihasilkan rangkaian buck converter terus naik pada setiap nilai *duty cycle* yang diberikan. Secara keseluruhan nilai tegangan keluaran dari buck converter pada setiap beban mengalami kenaikan dan berdasarkan hasil pengukuran tegangan keluaran terbesar terjadi pada nilai beban 100 Ω. Pada grafik memperlihatkan hubungan bahwa semakin besar nilai *duty cycle* yang diberikan maka tegangan keluaran yang dihasilkan juga akan semakin besar.

### 3.4. Pengujian Efisiensi Rangkaian Buck Konverter

Efisiensi konverter arus searah buck tanpa umpan balik tegangan dapat dicari dengan menghitung daya input ( $P_{in}$ ) dan daya output ( $P_{out}$ ) pada konverter arus searah buck tanpa umpan balik dengan variasi beban antara 15,32 Ω; 52 Ω, dan 100 Ω dengan menggunakan Persamaan 4.5 berikut.

$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{in}} \times 100$$

keterangan :

$$P_{in} = V_{in} \times I_{in}$$

$$P_{out} = V_{out} \times I_{out}$$

Persamaan 4.5 digunakan untuk mengetahui seberapa besar efisiensi dari konverter arus searah buck tanpa umpan balik tegangan pada penelitian ini. Hasil perhitungan besar efisiensi konverter arus searah buck tanpa umpan balik tegangan dapat dilihat pada Tabel 3

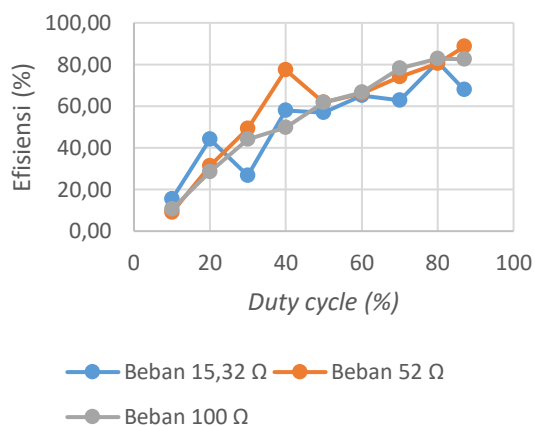
Tabel 3. Perhitungan efisiensi konverter arus searah buck tanpa umpan balik tegangan dengan variasi *duty cycle* dan beban

R (Ω)	D (%)	V <sub>in</sub> (V)	I <sub>in</sub> (A)	V <sub>out</sub> (V)	I <sub>out</sub> (A)	P <sub>in</sub> (W)	P <sub>out</sub> (W)	η (%)
15,32 Ω	10	13.4	0.02	0.73	0.05	0.23	0.04	15.38
	20	12.9	0.04	1.77	0.12	0.48	0.21	44.13
	30	12.1	0.06	1.7	0.11	0.70	0.19	26.65
	40	10.7	0.09	2.94	0.19	0.96	0.56	58.01
	50	10.8	0.13	3.48	0.23	1.40	0.80	57.01
	60	9	0.16	3.75	0.25	1.44	0.94	65.10
	70	8.4	0.21	4.1	0.27	1.76	1.11	62.76
52 Ω	80	6.8	0.23	4.38	0.29	1.56	1.27	81.21
	87	6.3	0.26	4.12	0.27	1.64	1.11	67.91
	10	13.2	0.01	0.91	0.02	0.17	0.02	8.96
	20	12.8	0.02	2	0.04	0.24	0.08	31.25
	30	12.4	0.03	3.15	0.06	0.38	0.19	49.17
	40	11	0.03	3.65	0.07	0.33	0.26	77.42
	50	11.6	0.06	5.1	0.09	0.74	0.46	61.83
100 Ω	60	10	0.07	5.14	0.09	0.70	0.46	66.09
	70	10.6	0.10	6.4	0.12	1.04	0.77	73.93
	80	9.7	0.12	7.2	0.13	1.16	0.94	80.41
	87	9	0.13	7.4	0.14	1.17	1.04	88.55
	10	12.64	0.01	1.33	0.01	0.15	0.02	10.52
	20	12.52	0.02	2.53	0.02	0.21	0.06	28.53
	30	12.38	0.02	3.58	0.04	0.28	0.13	44.01
100 Ω	40	12.23	0.03	4.40	0.04	0.35	0.18	49.62
	50	11.90	0.04	5.40	0.05	0.46	0.29	61.67
	60	11.70	0.05	6.50	0.06	0.59	0.39	66.67
	70	11.20	0.06	7.30	0.07	0.67	0.53	78.21
	80	10.80	0.08	8.40	0.08	0.83	0.69	82.83
	87	10.80	0.09	8.90	0.09	0.93	0.77	82.41

Pada Tabel 3 ditunjukkan besarnya nilai efisiensi buck converter pada variasi *duty cycle* 10% - 87% dan variasi beban 15,32 Ω; 52 Ω, dan 100 Ω. Terlihat efisiensi tertinggi pada beban 15,32 Ω ada pada *duty cycle* 80% sebesar 81,21%, pada beban 52 Ω ada pada *duty cycle* 87% sebesar 88,55% dan pada beban 100 Ω ada pada *duty cycle* 80% sebesar 82,83%. Efisiensi terendah pada beban 15,32 Ω ada pada *duty cycle* 10% sebesar 15,38%, pada beban 52 Ω ada pada *duty cycle* 10% sebesar 8,9%, dan pada beban 100 Ω ada pada *duty cycle* 10% sebesar 10,52%. Grafik efisiensi rangkaian buck converter tanpa umpan balik tegangan dapat ditunjukkan pada Gambar 9 berikut :

Pada Gambar 9 ditunjukkan nilai efisiensi pada nilai beban 15,32 Ω, 52 Ω dan 100 Ω dengan variasi *duty cycle*. Terlihat efisiensi terendah ada pada *duty cycle* 10% dengan nilai efisiensi sebesar 15,38% pada beban 15,32 Ω, efisiensi 8,96% pada beban 52 Ω, dan efisiensi 10,52% pada beban 100 Ω. Terjadi penurunan efisiensi pada beban 15,32 Ω pada *duty cycle* 30% dengan nilai efisiensi sebesar 26,65%, kemudian naik menjadi 58,01% pada

*duty cycle* 40%. Pada beban 52  $\Omega$  terjadi kenaikan efisiensi pada saat *duty cycle* 40% sebesar 77,42 %, kemudian mengalami penurunan pada *duty cycle* 50% sebesar 61,83% dan terus naik sampai *duty cycle* 87%. Pada nilai beban 100  $\Omega$  nilai efisiensi terus naik pada setiap kenaikan *duty cycle*, efisiensi terendah terjadi pada *duty cycle* 10% dengan nilai 10,52% dan nilai efisiensi tertinggi pada *duty cycle* 80% dengan nilai efisiensi 82,83%. Secara keseluruhan terjadi peningkatan efisiensi pada setiap nilai bebannya, tetapi terjadi fluktuasi nilai efisiensi dengan beban 15,32  $\Omega$  dan 52  $\Omega$  pada beberapa nilai *duty cycle*.



Gambar 9. Grafik efisiensi buck converter tanpa umpan balik tegangan

#### 4. Kesimpulan

*Buck converter* dengan sumber tegangan termoelektrik telah berhasil dibuat dan dapat menghasilkan tegangan keluaran yang lebih kecil dari tegangan masukan dengan mengatur lebar pulsa (*duty cycle*) dari rangkaian control PWM (*Pulse With Modulation*). Perancangan modul termoelektrik telah dibuat dengan menggunakan enam buah modul TEC1-12706 dengan sumber panas sisi permukaannya berupa setrika dengan *thermostat* dan sisi permukaannya dinginnya berupa *water block*. Kemudian tegangan keluaran TEC diteruskan ke *buck converter* untuk diturunkan tegangannya. Pengujian tanpa umpan balik tegangan nilai tegangan tertinggi dengan beban resistif 15,32  $\Omega$  sebesar 4,38 V pada *duty cycle* 80%, beban resistif 52  $\Omega$  sebesar 7,4 V pada *duty cycle* 87%, dan beban resistif 100  $\Omega$  sebesar 8,9 V pada *duty cycle* 87%. Pada pengujian Nilai efisiensi rangkaian *buck converter* dengan beban 15,32  $\Omega$  terendah sebesar 15,38%, sedangkan tertinggi sebesar 62,76%. Pada beban sebesar 52  $\Omega$  nilai efisiensi terendah ada pada nilai *duty cycle* 10% dengan efisiensi sebesar 8,96%, sedangkan nilai efisiensi tertinggi ada pada *duty cycle* 87% dengan efisiensi sebesar 88,55%. Pada beban 100  $\Omega$  nilai efisiensi terendah ada pada *duty cycle* 10% dengan efisiensi sebesar 10,52%, sedangkan nilai efisiensi tertinggi ada

pada *duty cycle* 80% dengan nilai efisiensi sebesar 82,83%.

#### Referensi

- [1]. H. S. Antonio L., *Handbook of Photovoltaic Science and Engineering*. West Sussex: John Wiley & Sons, 2003.
- [2]. E. Indonesia, "Melirik Teknologi Termoelektrik sebagai Sumber Energi Alternatif," pp. 3–5, 2018.
- [3]. M. H. Rashid, *Power Electronics Handbook: Devices, Circuits, and Applications*. United States: Prentice-Hall International Inc, 2007.
- [4]. D. Champier, J. P. Bedecarrats, M. Rivaletto, and F. Strub, "Thermoelectric power generation from biomass cook stoves," *Energy*, vol. 35, no. 2, pp. 935–942, 2010.
- [5]. R. I. Mainil *et al.*, "Penggunaan Modul Thermoelectric sebagai Elemen Pendingin Box Cooler," pp. 1–2, 2015.
- [6]. L. W. Cahyadi and T. Andromeda, "Kinerja Konverter Arus Searah Tipe Buck Converter Dengan Umpan Balik Tegangan Berbasis TL494," 2017.
- [7]. Arif Muslih Jainudin, "Konverter Arus Searah Tipe Buck Dengan Umpan Balik Arus Dan Tegangan Untuk Pengisi Akumulator," 2017.
- [8]. Eko Satrio Danu Prakoso, "Perancangan Konverter Arus Searah Zeta Voltage Feedback Menggunakan IC TL494," 2017.
- [9]. T. Instruments, *TL494 Pulse-Width-Modulation Control Circuits*. Texas: Texas Instruments Inc., 2017.
- [10]. H. I.T., *TEC1-12706 Datasheet*. Shanghai: Hebei I.T. Co., Ltd.
- [11]. I. Rectifier, "IRFZ44N Datasheet," *Pd - 94053*, vol. PD-94053, no. PD-94053, pp. 1–9, 2001.
- [12]. 7 Thinki Semiconductor, *U1560 Datasheet*. Thinki Semiconductor Co., Ltd., 2006.