

EVALUASI KINERJA BUCK-BOOST KONVERTER BERBASIS KONTROLER KONVENSIONAL

Roslina Hakim¹, I Ketut Wiryajati², Ida Bagus Fery Citarsa³

^{1,2,3}University of Mataram, Jl. Majapahit 62, Mataram, Lombok NTB Indonesia

Riwayat artikel:

Received: 27 Maret 2024

Accepted: 30 Maret 2024

Published: 2 April 2024

Keywords:

Buck-Boost Konverter;

Open loop;

Close loop;

Correspondent Email:

roslianahakim46@gmail.com

Abstrak. Dengan kemajuan teknologi, terutama dalam bidang elektronika, serta meningkatnya kebutuhan tegangan DC, Buck-boost konverter menjadi penting karena kemampuannya mengubah nilai tegangan DC menjadi lebih tinggi atau lebih rendah dari tegangan masukan. Penelitian ini bertujuan merancang modul dirancang konverter buck-boost untuk mendapatkan tegangan output yang lebih besar maupun lebih kecil dari tegangan input. Tegangan output pada buck-boost konverter open loop dikendalikan dengan mengatur nilai dari duty cycle dari PWM, sedangkan pada buck-boost konverter close loop dikendalikan oleh parameter P_i . Pengujian sistem secara simulasi menggunakan software MATLAB/SIMULINK. Buck-boost konverter dioperasikan dengan tegangan masukan 12V, dan duty cycle variasi antara 5% hingga 60%, pada frekuensi switching 50kHz. Hasil pengukuran menunjukkan tegangan keluaran minimal 0,629 V pada duty cycle 5%, dan maksimal 18 V pada duty cycle 60%. Evaluasi performa mengungkap variasi error yang signifikan, terutama pada pengujian 15 hingga 18, dengan rata-rata error sekitar 0,3 V. Efisiensi tertinggi terjadi pada duty cycle 65%, mencapai 86.06%, dengan rata-rata efisiensi sekitar 32.64%.

Abstract. With the advancement of technology, especially in the field of electronics, as well as the increasing need for DC voltage, Buck-boost converter becomes important because of its ability to change the value of DC voltage to be higher or lower than the input voltage. This study aims to design a module designed buck-boost converter to get an output voltage that is greater or smaller than the input voltage. The output voltage of the open loop buck-boost converter is controlled by adjusting the value of the duty cycle of the PWM, while the close loop buck-boost converter is controlled by the P_i parameter. System testing is simulated using MATLAB/SIMULINK software. The buck-boost converter is operated with an input voltage of 12V, and the duty cycle varies between 5% to 60%, at a switching frequency of 50kHz. Measurement results showed a minimum output voltage of 0.629 V at 5% duty cycle, and a maximum of 18 V at 60% duty cycle. Performance evaluation revealed significant error variations, especially in tests 15 to 18, with an average error of about 0.3 V. The highest efficiency occurred at a duty cycle of 65%, reaching 86.06%, with an average efficiency of about 32.64%.

1. PENDAHULUAN

Dengan perkembangan teknologi, terutama dalam bidang elektronika, serta meningkatnya permintaan akan tegangan DC (Arus Searah), hampir semua perangkat elektronik membutuhkan sumber tegangan DC. Ini berlaku baik untuk tegangan rendah maupun tegangan tinggi, seperti dalam kendaraan listrik, peralatan rumah tangga, telekomunikasi, dan sebagainya[1]. Perangkat elektronika dan

komponen kini mampu menghasilkan sistem penyediaan daya tegangan searah (*Direct Current/DC*). Sistem ini melakukan konversi tegangan DC masukan menjadi tegangan DC keluaran yang lebih tinggi atau lebih rendah. Proses konversi ini sering disebut sebagai DC-DC konverter. Penerapan DC-DC konverter dalam perkembangan teknologi telah memungkinkan perangkat elektronika untuk berfungsi dengan menggunakan sumber energi

baterai yang memiliki tegangan rendah, dengan kemampuan mengatur tegangan keluaran sesuai kebutuhan. Ada berbagai jenis konfigurasi DC-DC konverter yang telah dikembangkan, salah satunya adalah jenis DC-DC konverter tanpa isolasi dielektrik antara tegangan masukan dan keluaran, yang sering disebut sebagai *non-isolated* DC-DC konverter.[2]

Berdasarkan jenis perubahan tegangannya, DC-DC konverter dapat dibagi menjadi tiga jenis, yaitu boost konverter (menaikkan), buck konverter (menurunkan), dan buck-boost konverter (mengatur tegangan menjadi lebih tinggi atau lebih rendah). Buck konverter digunakan ketika ingin mendapatkan tegangan keluaran yang lebih rendah dari tegangan masukan. Sebaliknya, boost konverter digunakan untuk meningkatkan tegangan keluaran melebihi tegangan masukan. Sedangkan, buck-boost konverter digunakan ketika ingin mengatur tegangan keluaran agar bisa lebih tinggi atau lebih rendah dari tegangan masukan.[3]

Konverter buck-boost adalah perkembangan dari konverter buck dan boost sebelumnya, yang digunakan untuk mengubah nilai tegangan DC dari tinggi ke rendah atau sebaliknya menggunakan satu alat. Prinsip kerjanya melibatkan pengaturan *duty cycle* pada transistor *switching* untuk mengatur tegangan. Proses *switching* ini dikendalikan oleh sinyal PWM yang dihasilkan oleh mikrokontroler. Induktor juga memegang peranan penting dalam memindahkan energi dari *input* ke *output* pada konverter buck-boost.[4] Buck-boost konverter yang dilengkapi dengan fitur sistem *close loop*. Sistem *close loop* ini dikembangkan guna mengendalikan tegangan DC keluaran pada konverter DC-DC tersebut. Dalam mengendalikan tegangan DC keluaran ini, salah satu metode yang mudah dan umum diimplementasikan yaitu dengan metode PI [5]. Bila respon *output* masih belum sesuai, maka akan dilakukan proses *adjustment* dengan *trial-error* sebagai upaya lanjutan guna mendapat pengaturan parameter PI yang tepat.[6]

2. TINJAUAN PUSTAKA

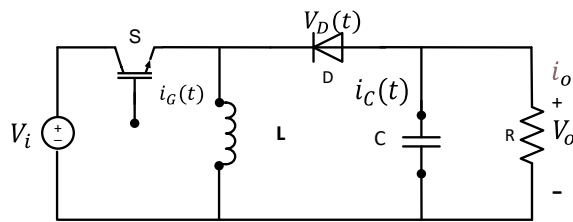
2.1 DC-DC Konverter

Konverter DC-DC merupakan suatu rangkaian elektronika daya yang mampu mengubah tegangan DC dari satu tingkat tegangan DC ke tingkat tegangan DC lainnya.

Jenis-jenis konverter DC-DC meliputi Boost, Buck, Buck-Boost, Cuk, dan Sepic[7]. Saat memilih konverter, penting untuk mempertimbangkan beberapa kriteria atau keunggulan, seperti kemudahan integritas konverter, kemampuan untuk mengurangi komponen yang tidak perlu, minimnya *ripple* arus keluaran, dan pemeliharaan tegangan DC-DC yang stabil. DC-DC konverter berfungsi untuk mengatur dan menjaga tegangan keluaran DC pada level tertentu agar tidak terjadi permasalahan yang diinginkan[8]. DC konverter pada dasarnya memiliki dua mode operasi, DCM terjadi saat arus induktor dalam konverter mencapai nol atau tidak kontinu, sedangkan CCM terjadi ketika arus induktor dalam konverter mengalir tanpa putus secara berkelanjutan.[9]

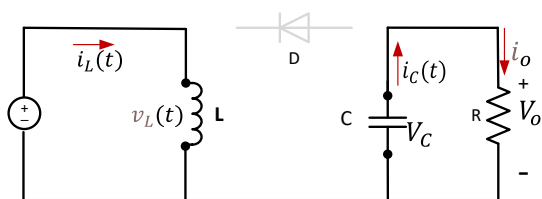
2.2 Buck-Boost Konverter

Buck-boost konverter merupakan tipe konverter yang berfungsi mengubah nilai tegangan DC menjadi lebih tinggi maupun lebih rendah dari nilai masukannya. Dengan mengubah nilai polaritas dari tegangan *output* terhadap tegangan *input*. Komponen utama dalam rangkaian buck-boost konverter mencakup mosfet, induktor (L), kapasitor (C), dan resistor yang bertindak sebagai beban. [10] Buck-boost konverter menghasilkan tegangan *output* yang terbalik tanpa memerlukan transformator. Regulator ini membutuhkan tingkat efisiensi yang tinggi. Ketika terjadi *source* pada transistor arus pada di/dl dibatasi oleh induktor L dan akan menjadi V_s/L . Proteksi terhadap arus hubung singkat mudah diimplementasikan. Proteksi terhadap arus hubung singkat dapat diimplementasikan dengan mudah. Namun, penting dicatat bahwa jika *duty cycle* PWM sebagai pemicu saklar melebihi 50%, tegangan keluaran akan melebihi tegangan masukan. Sebaliknya, jika *duty cycle input* terputus, dan dioda menjadi *forward bias*, memungkinkan arus mengalir dari induktor ke kapasitor. Pada tahap ini, kapasitor mulai mengisi daya, sementara beban menerima energi dari induktor, yang menyebabkan arus dalam induktor menurun hingga *switch* kembali ke posisi menyala. PWM kurang dari 50%, tegangan keluaran akan lebih rendah dari tegangan masukan.[11] Gambar 1. (a) Buck-boost konverter, (b) *mode switch on*, (c) *mode switch off*.

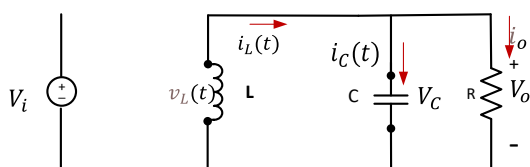


(a) Buck-boost konverter

Prinsip operasi rangkaian buck-boost konverter terbagi menjadi dua mode: saat *switch* dalam keadaan menyala (*on*) dan saat *switch* dalam keadaan mati (*off*). Mode *switch* on dapat diamati pada Gambar b dan c. Ketika *switch* dalam keadaan menyala, dioda berada dalam keadaan *reverse bias*, sehingga tidak ada arus yang mengalir melalui dioda. Pada kondisi ini, tegangan dioda (V_D) adalah sebesar $-(V_{in} + V_o)$. Saat *switch* dalam posisi tertutup, tegangan dari sumber input dialirkan ke induktor, menyebabkan arus mengalir melalui induktor selama periode di mana *switch* berada dalam keadaan aktif. Pada saat yang sama, kapasitor berada dalam kondisi pembuangan, melepas tegangan dan arus ke beban secara bersamaan. Ketika *switch* berpindah ke posisi mati, tegangan input terputus, dan dioda menjadi *forward bias*, memungkinkan arus mengalir dari induktor ke kapasitor. Pada tahap ini, kapasitor mulai mengisi daya, sementara beban menerima energi dari induktor, yang menyebabkan arus dalam induktor menurun hingga *switch* kembali ke posisi menyala. [12]



(b) Mode switch on



(c) Mode switch off

Gambar 1. Buck-Boost Konverter Operasional Ketika *switch* dalam kondisi *on* diperoleh persamaan sebagai berikut:

$$V_L = L \frac{di_L}{dt} = L \frac{\Delta i_L}{\Delta t} \dots \dots \dots (1)$$

Sedangkan dalam kondisi *switch off* diperoleh persamaan sebagai berikut:

$$\Delta i_{L(off)} = \frac{\Delta t V_L}{L} = \frac{(1-D)TV_o}{L} = \frac{(1-D)V_o}{Lf} \dots (2)$$

Untuk pengoperasian dalam keadaan *study-state*, perubahan bersih pada arus induktor harus nol dalam satu periode. Menggunakan persamaan (1) dan (2).

$$\Delta i_{L(on)} + \Delta i_{L(off)} \dots \dots \dots (3)$$

$$\frac{DV_{in}}{Lf} = \frac{(1-D)V_o}{Lf} \dots \dots \dots (4)$$

Untuk mencari nilai tegangan output adalah:

$$V_o = -V_{in} \left(\frac{D}{1-D} \right) \dots \dots \dots (5)$$

Untuk mencari nilai *duty cycle* dengan tegangan *input* dan *output* yang telah ditentukan:

$$D = \frac{|V_o|}{V_s + |V_o|} \dots \dots \dots (6)$$

3. METODE PENELITIAN

Metode penelitian yang digunakan yaitu dengan model simulasi buck-boost konverter dengan 2 tahap, yaitu perancangan *open loop* dan *close loop* dilakukan dengan software (perangkat lunak) yang akan disimulasikan menggunakan simulink pada MATLAB, pada saat metode simulasi *open loop* nilai tegangan *input* bernilai konstan yaitu 12V. Tegangan keluaran dari buck-boost konverter ini yang bersifat fluktuatif yang dipengaruhi oleh nilai *duty cycle*, nilai frekuensi tetap, nilai *duty cycle* bervariasi dan nilai beban yang tetap, sedangkan pada saat simulasi *close loop* nilai tegangan konstan 12V. Tegangan keluaran pada *close loop* dikendalikan oleh PI.

3.1 Perancangan Buck-boost Konverter

Pada perancangan buck-boost konverter, dimodelkan menggunakan *simulink MATLAB*. Pada Gambar Tabel 1.

Tabel 1. Spesifikasi Buck-boost konverter

Parameter	Nilai
Tegangan Input (V_{in})	12 V
Tegangan output	0.63 Vdc – 18 Vdc
Duty Cycle	5-60%
Resistansi Beban (R_L)	$R = 10 \text{ ohm}$
Induktor	90.25 μH
Kapasitor	300 μf
Frekuensi $S_{switching}$ (F_s)	50 kHz
Ripple Tegangan (ΔV_o)	1%

Spesifikasi komponen yang akan digunakan dalam merancang dan mensimulasikan buck-boost konverter. Spesifikasi buck-boost

konverter pada Tabel didapatkan dari perhitungan berikut:

1. Menentukan nilai *Duty cycle* yang digunakan untuk menghasilkan tegangan keluaran $\pm 0.63V$ dan $\pm 18V$

$$D_{max} = \frac{V_o}{V_{in} + V_o} = \frac{18}{12+18} = 60\%$$

$$D_{min} = \frac{V_o}{V_{in} + V_o} = \frac{0.63}{12+0.63} = 5\%$$

2. Menentukan nilai resistor

$$R = \frac{V_o}{I_{out}} = \frac{18}{1.8} = 10\Omega$$

3. Menentukan nilai induktor *minimum* (L_{min})

Pada saat $D = 5\%$

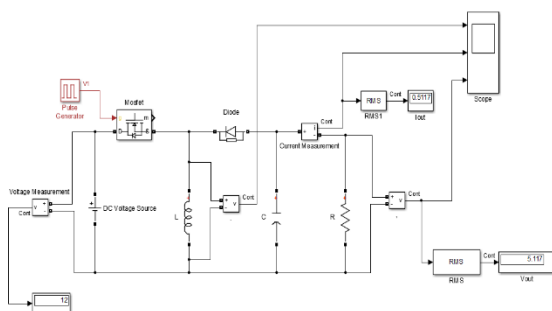
$$L_{min} = \frac{R(1-D)^2}{2f} = \frac{10(1-0.05)^2}{2(50.000)} = 90.25 \mu H$$

Jadi, dari data di atas dengan perhitungan dengan nilai *duty cycle* 5% y, nilai L_{min} adalah 90.25 μH . Maka nilai pemilihan induktor lebih besar dari L_{min} ($L > L_{min}$) agar sistem buck-boost konverter bekerja pada *Continuous Current Mode* (CCM), paling tidak harus lebih besar 25% dari nilai minimum. Sehingga nilai induktor selalu dalam nilai yang tidak pernah 0 saat study state (mode CCM).[13]

4. Menentukan nilai kapasitor

$$C = \frac{DTV_o}{\Delta V_o R} = \frac{D}{R \left(\frac{\Delta V_o}{V_o} \right) f} = \frac{(0.05)(0.63)}{(0.01)(50.000)10} = 63 \mu f$$

3.2 Perancangan Buck-Boost Konverter Open Loop

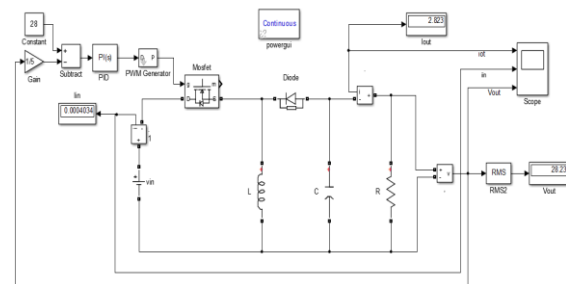


Gambar 2. Rangkaian Buck-boost Konverter Open Loop

Pada perancangan ini tegangan input bernilai konstan yaitu 12V dan untuk mendapatkan nilai tegangan keluaran buck-boost konverter harus terlebih dahulu menghitung nilai parameter dan menentukan nilai *duty cycle* agar sesuai dengan data *output* yang diinginkan. Model sistem *open loop* dapat dilihat pada Gambar 2.

3.3 Perancangan Buck-Boost Konverter Close Loop

Pada perancangan ini nilai tegangan input yang digunakan sama dengan tegangan yang digunakan di *open loop*. Pada perancangan *close loop* ini nilai tegangan keluaran dikendalikan oleh PI agar membantu mempercepat nilai output yang digunakan. Model sistem *close loop* dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Rangkaian Buck-boost Konverter Close Loop

3.4 Analisis Data

Analisis dilakukan pada buck-boost converter dengan melakukan serangkaian pengujian. Pengujian pertama melibatkan observasi terhadap keluaran tegangan saat ada variasi *duty cycle*. Sukses dianggap tercapai jika tegangan keluaran dapat lebih tinggi (*step up*) atau lebih rendah (*step down*) dari tegangan masukan. Pengujian kedua menggunakan *Simulink MATLAB* untuk mengukur tegangan dan arus beban guna memperoleh selisih antara pengukuran dan perhitungan berdasarkan persamaan 3.1. Setelah mengidentifikasi error, standar deviasi *error* dan efisiensi buck-boost converter dihitung untuk mengevaluasi konsistensi data. Standar deviasi dihitung menggunakan persamaan 3.2 dan 3.3.

$$E_{absolute} = V_{terukur} - V_{teoritis} \dots (3.1)$$

$$\bar{v} = \sum_{i=1}^n v_i \dots \dots \dots (3.2)$$

$$s = \frac{\sum_{i=1}^n (v_i - \bar{v})^2}{n-1} \dots \dots \dots (3.3)$$

Keterangan:

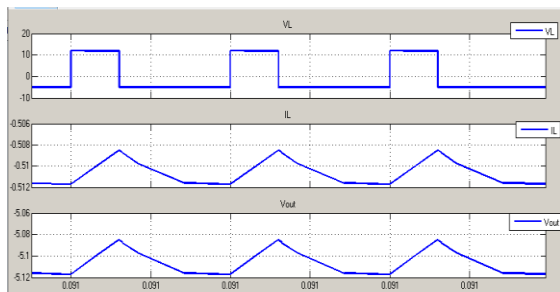
\bar{v} = Tegangan rata-rata, v_i = Tegangan ke i (V),
 s = standar deviasi, n = jumlah data

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

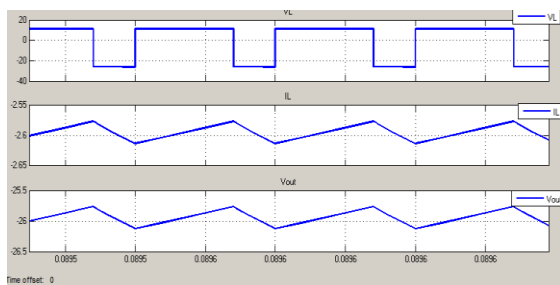
4.1 Simulasi Buck-Boost Konverter

Pada operasi buck-boost konverter *open loop*. Simulasi ini dilakukan dengan mengatur tegangan *input* sebesar 12 V dan di sisi beban

dipasang sebesar $10\ \Omega$. Pada simulasi ini penulis menggunakan dua sampel yaitu pada saat mode buck dan pada saat mode boost dengan *duty cycle* 30% dan 70%.

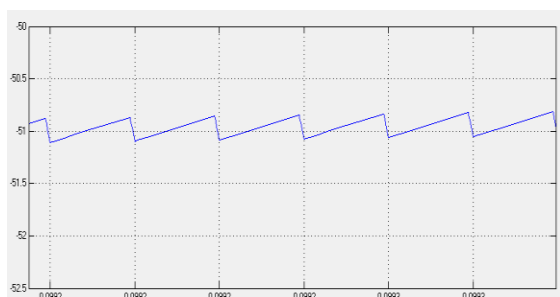


Gambar d. *duty cycle* 30%



Gambar d. *duty cycle* 70%

Dari analisis gelombang di atas, dapat diketahui bahwa ketika *duty cycle* bernilai 30%, tegangan keluaran lebih rendah dari tegangan masukan, menunjukkan operasi pada mode buck. Hal ini juga terlihat dari gelombang hasil yang memiliki jarak yang lebih rapat pada nilai *duty cycle* 30%. Sebaliknya, saat *duty cycle* mencapai 70%, tegangan keluaran lebih tinggi dari tegangan masukan, menandakan operasi pada mode boost, yang tercermin dari hasil gelombang yang lebih melebar. Lebar pulsa PWM berbanding lurus dengan tegangan keluaran, semakin besar lebar pulsa maka tegangan keluaran juga semakin besar.



f. Gambar *output* sinyal kendali PI

Hasil simulasi untuk percobaan buck-boost konverter *open loop* dapat dilihat pada gambar d dan e. sedangkan hasil simulasi *close loop* pada gambar f. Berdasarkan Gambar f, menunjukan *set point* tegangan keluaran diatur sebesar 50 V dengan nilai parameter kendali PI yang dimasukkan yaitu, $K_p = 0.0065$, dan $K_i = 0.123$

4.2 Pengujian Simulasi dan Analisa Buck-boost Konverter

Dalam pengujian ini, *duty cycle* mengalami variasi untuk mengamati karakteristik tegangan keluaran. Tegangan masukan yang digunakan adalah 12V, dengan beban tetap sebesar $10\ \Omega$, untuk mendapatkan nilai tegangan dan arus baik pada input maupun output. Hasil pengukuran merupakan nilai rata-rata dari lima kali pengambilan data. Setelah mendapatkan hasil pengukuran, dilakukan perhitungan nilai error tegangan menggunakan persamaan 3.1. Selain itu, dilakukan perhitungan daya *input* dan daya *output*. Tabel disusun untuk menyajikan hasil pengukuran dan perhitungan.

Dari hasil pengujian pada Tabel 2, dapat diketahui bahwa hasil buck-boost konverter mampu menghasilkan tegangan keluaran yang lebih rendah maupun lebih tinggi dari tegangan *input*. Pada saat *duty cycle* dibawah 50% buck-boost konverter bekerja dalam mode buck, sedangkan pada saat nilai *duty cycle* diatas 50 buck-boost konverter bekerja dalam mode boost. Hasil dari nilai tegangan tersebut sudah sesuai teori, bahwa buck-boost konverter dapat menurunkan dan menaikkan suatu tegangan dengan mengatur nilai *duty cycle* nya.

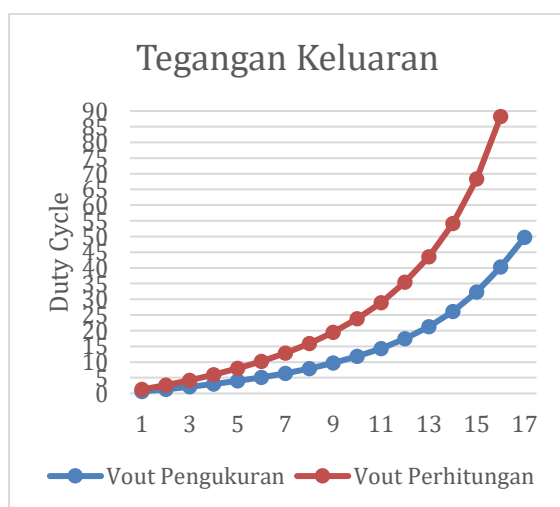
Tabel 3. Hasil pengujian Buck Boost Konverter *close loop*

Set Point	V_{in} (V)	PI		V_{out}
		K_i	K_p	
5	12	0.0065	0.123	1.248
10	12	0.0065	0.123	2.785
15	12	0.0065	0.123	4.719
20	12	0.0065	0.123	7.224
25	12	0.0065	0.123	10.58
30	12	0.0065	0.123	15.3
35	12	0.0065	0.123	22.27
40	12	0.0065	0.123	33.12
45	12	0.0065	0.123	48.76
50	12	0.0065	0.123	50.62
55	12	0.0065	0.123	39.11
60	12	0.0065	0.123	28.52

Tabel 2. Hasil pengujian Buck Boost Konverter *open loop*

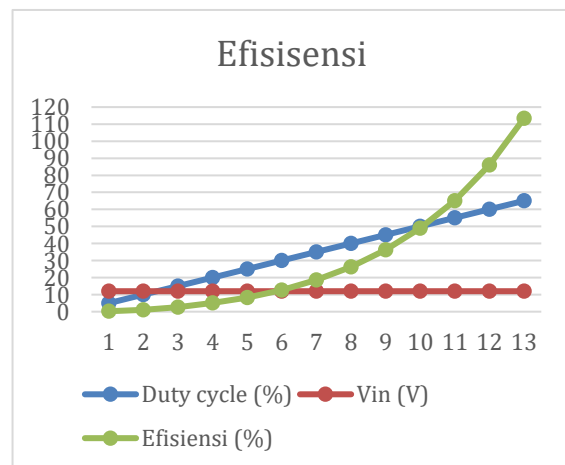
Duty cycle (%)	Vin (V)	Iin (A)	Pin (w)	Vout		Selisih (error)	Iout (A)	Po (w)	Efisiensi (%)
				Pengukuran	Perhitungan				
5	12	0.01263	0.0151	0.629	0.63	0.001	0.0629	0.039	0.25
10	12	0.01333	0.159	1.329	1.3	0.029	0.1329	0.176	1.1
15	12	0.01411	0.169	2.111	2.1	0.011	0.2111	0.445	2.6
20	12	0.01499	0.179	2.99	3	0.01	0.299	0.894	5.07
25	12	0.01598	0.191	3.984	4	0.016	0.3984	1.587	8.3
30	12	0.01712	0.205	5.117	5.1	0.017	0.5117	2.618	12.7
35	12	0.01842	0.222	6.42	6.4	0.02	0.642	4.121	18.56
40	12	0.01993	0.239	7.931	8	0.209	0.793	6.29	26.3
45	12	0.02171	0.26	9.704	9.8	0.096	0.974	9.416	36.2
50	12	0.02381	0.285	11.81	12	0.19	1.181	13.947	48.9
55	12	0.02634	0.316	14.34	14.6	0.26	1.434	20.563	65
60	12	0.02944	0.353	17.43	18	0.57	1.743	30.38	86.06

Dari hasil pengujian pada **Tabel 3**, dapat diketahui bahwa tegangan masukan bernilai tetap (12 V) dan nilai parameter PI tetap, serta nilai *set point* diatur dari 5 -60 V. hasil respon tegangan keluarannya yang lebih optimal yaitu pada *set point* 50 V, dengan selisih *error* 0.62. Pada Gambar 3, terlihat bahwa saat melakukan pengujian dengan nilai *duty cycle* antara 5% hingga 60%, diperoleh data mengenai tegangan keluaran dan arus keluaran. Saat nilai *duty cycle* berada di bawah 50%, buck-boost konverter menurunkan tegangan dari 12V tegangan input (operasi dalam mode buck). Ketika nilai *duty cycle* melebihi 50%, konverter beroperasi dalam mode boost karena tegangan keluaran lebih tinggi dari tegangan masukan.

**Gambar 3.** Grafik perbandingan *vout* ukur dan *vout* hitung

Buck-boost konverter dapat menghasilkan tegangan keluaran yang lebih rendah atau lebih tinggi dari tegangan masukan, serta memiliki

polaritas yang berlawanan dengan tegangan masukan. Tegangan maksimum yang dapat dihasilkan oleh buck-boost konverter adalah 26.13 V. Rentang nilai *duty cycle* yang diuji adalah 5% hingga 60%. Pada grafik tersebut juga terlihat perbedaan antara nilai tegangan keluaran yang dihitung (*Vout* hitung) dengan yang diukur (*Vout* ukur), yang disebabkan oleh kerugian pada komponen yang digunakan. Semakin tinggi nilai *duty cycle*, semakin besar pula penurunan tegangan yang terjadi akibat resistansi pada induktor yang tidak mampu menahan arus berlebih.

**Gambar 4.** Grafik nilai efisiensi

Pada pengujian, efisiensi tertinggi tercapai pada *duty cycle* 60% dengan nilai 86.06%. Terdapat perbedaan antara nilai tegangan yang diamati secara langsung dan nilai perhitungan teoritis. Dengan menggunakan persamaan 3.1, rata-rata *error* adalah 0.30 V dan rata-rata efisiensi adalah 32.64%. Standar deviasi *error* adalah 0,3V dan

standar deviasi efisiensi adalah 36,09%. Standar deviasi *error* lebih besar dari rata-rata, menandakan adanya nilai *error* yang signifikan dalam beberapa kasus, terutama pada percobaan 15 hingga 18. Ini berpotensi mempengaruhi keandalan buck-boost converter karena variasi nilai *error* yang tinggi

5. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil pengujian Buck-Boost Konverter dengan sistem Simulink MATLAB dapat disimpulkan bahwa hasil perancangan buck-boost konverter didapatkan tegangan minimal 0,629 V pada saat nilai *duty cycle* 5% dan tegangan maksimalnya 18 V saat nilai *duty cycle* 60%. Untuk hasil evaluasi performa didapatkan nilai *error* dari percobaan 15 sampai percobaan 18 yang memiliki variasi nilai *error* yang cukup tinggi, nilai rata-rata *error* diperoleh adalah 0,3 V, sedangkan nilai efisiensi terbesar dimiliki saat nilai *duty cycle* 60% yaitu 86.06% dan nilai rata-rata efisiensi *error* adalah 32.64%.

Sedangkan pada pengujian *close loop* Buck-boost konverter, tegangan masukan bernilai tetap (12 V) dan nilai parameter PI tetap, serta nilai *set point* diatur dari 5 -60 V. hasil respon tegangan keluarannya yang lebih optimal yaitu pada *set point* 50 V, dengan selisih *error* 0.62.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Fakultas Teknik, Jurusan Teknik Elektro. Dosen Pembimbing Akademik dan Dosen pembimbing, serta kedua orang tua saya atas dukungannya selama ini dan rekan-rekan angkatan prodi Teknik Elektro Universitas Mataram.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] S. Diusti Dwi Putri, Aswardi, Rancang Bangun Buck-Boost Converter Menggunakan Kendali Pid, J. Tek. Elektro Dan Vokasional 6 (2020) 1–15.
[Http://Ejournal.Unp.Ac.Id/Index.Php/Jtev/Ind ex](http://Ejournal.Unp.Ac.Id/Index.Php/Jtev/Ind ex).
- [2] H. Buntulayuk, F.A. Samman, Y. Yusran, Rancangan Dc-Dc Converter Untuk Penguatan Tegangan, J. Penelit. Enj. 21 (2018) 78–82.
<https://doi.org/10.25042/jpe.112017.12>.
- [3] J. Julianto, A. Rajagukguk, Rancang Bangun Buck-Boost Converter Berbasis Arduino Pada Pembangkit Listrik Tenaga Surya 8x10 Wp, J. Fteknik 7 (2020) 1–11.
- [4] M.C. Rachman, Rancang Bangun Konverter Buck Boost Dengan Sistem Monitoring Berbasis Labview, J. Ekon. Dan Pembangunan, Univ. Islam Indones. Yogyakarta 24 No. 1 (2016) 29–41.
- [5] S.M.I. Regiantoro Kunigar*)1, Adnan Rafi Al Tahtawi2, 3program 1, 2, Desain Dan Implementasi Modul Konverter Dc-Dc Jenis Buck-Boost Dengan Pengendali Pid, 4 (2008) 404–415.
- [6] H.K.S. Alvian Anggiana Putra1*, Muhamad Rifa'i2, Implementasi Sistem Kontrol Penggerak Motor Stepper Pada Proses Molding Microplastic Berbasis Pid Menggunakan Plc Dan Arduino, 12 (2024) 22–30.
- [7] S. Utami, Implementasi Algoritma Pertub And Observasi Untuk Mengoptimasi Daya Keluaran Solar Cell Menggunakan Mppt, J. Infotel Inform. Telekomun. - Elektron. (N.D.).
- [8] H. Mollae, P. Wheeler, S.M. Ghamari, S.A. Saadat, Original Research Paper A Novel Adaptive Cascade Controller Design On A Buck – Boost Dc – Dc Converter With A Fractional-Order Pid Voltage Controller And A Self-Tuning Regulator Adaptive Current Controller, (2021) 1920–1935.
<https://doi.org/10.1049/pel2.12159>.
- [9] M.K. Kazimierczuk, Power Converters Pulse-Width Modulated Dc – Dc Power Converters, 2008.
- [10] R. Azzahro, Penggunaan Buck Boost Converter Pada Battery Charging Menggunakan Fuzzy Logic Control Berbasis Arduino Bersumber Solar Cell, 2021.
- [11] H. Setiadi, Perbandingan Buck-Boost Konverter Dengan Maximum Power Point Tracker (Mppt) Pada Solar Charging Control (Studi Kasus Plts Pematang Johar), (2021) 6.
- [12] B. Chandrasekar, C. Nallaperumal, S. Padmanaban, M.S. Bhaskar, J.B. Holm-Nielsen, Z. Leonowicz, S.O. Masebinu, Non-Isolated High-Gain Triple Port Dc-Dc Buck-Boost Converter With Positive Output Voltage for Photovoltaic Applications, IEEE Access 8 (2020) 113649–113666.
<https://doi.org/10.1109/ACCESS.2020.3003192>.
- [13] I.K. Wirjayati, I.N.W. Satiawan, I.M.A. Nrartha, N.M. Seniari, Teori Dan Teknik Penyelesaian Kasus Rangkaian Listrik Dengan Matlab Dan Simulink I, (2022).