



# Analisis dan Simulasi Rangkaian Konverter Buck untuk Efisiensi Tinggi dalam Pengisian Perangkat Portabel 5 Volt

Fahrudin Nizar, I Ketut Wiriyajati\*, Sabar Nababan

Fakultas Teknik, Teknik Elektro, Universitas Mataram, Mataram, Indonesia

Email: <sup>1</sup>nizarfn22@gmail.com, <sup>2,\*</sup>kjatiwirya@unram.ac.id, <sup>3</sup>sabar@unram.ac.id

Email Penulis Korespondensi: kjatiwirya@unram.ac.id

**Abstrak**—Perkembangan teknologi serta kemajuan, menyebabkan banyak peralatan listrik maupun elektronik hampir semua menggunakan sumber tegangan DC yang tegangannya dapat disesuaikan. Sehingga diperlukan sebuah alat untuk menurunkan tegangan DC ke tegangan yang disesuaikan yaitu buck konverter. Buck konverter adalah alat yang dapat menurunkan tegangan DC ke tegangan yang lebih rendah. Penelitian ini bertujuan untuk merancang rangkaian *open* dan *close loop* konverter buck, mengetahui tingkat efisiensi serta pengaruh *duty cycle* terhadap tegangan keluaran dan nilai selisih error. Investigasi dan menggunakan perangkat lunak *MATLAB/SIMULINK*. Pada penelitian ini konverter buck *duty cycle* diubah dari 5% - 99% pada *open loop* dan tegangan masukan 12 volt – 24 volt pada *close loop* yang bekerja pada frekuensi 50kHz. Nilai tegangan keluaran yang mendekati 5 volt adalah *duty cycle* 40% dengan tegangan yang didapatkan yaitu sebesar V ukur 5,067 volt, V hitung 4,8 volt dengan selisih error 0,267 pada rangkaian *open loop* dan pada *close loop* didapatkan rata-rata selisih error tegangan *ouput* dari tegangan *setting point* 5 volt yaitu 1,102.

**Kata Kunci:** Buck konverter; Open loop; Close loop; Ouput tegangan Dc

**Abstract**—Technological developments and advances have caused many electrical and electronic devices to almost all use DC voltage sources whose voltage can be adjusted. So a tool is needed to reduce the DC voltage to an adjusted voltage, namely a buck converter. A buck converter is a device that can reduce DC voltage to a lower voltage. This research aims to design an open and close loop buck converter circuit, determine the level of efficiency and the effect of the duty cycle on the output voltage and the error difference value. Investigation and use of *MATLAB/SIMULINK* software. In this research, the buck converter duty cycle was changed from 5% - 99% in the open loop and the input voltage was 12 volts - 24 volts in the closed loop which worked at a frequency of 50kHz. The output voltage value that approaches 5 volts is a duty cycle of 40% with the voltage obtained being V measured 5.067 volts, V calculated 4.8 volts with an error difference of 0.267 in the open loop circuit and in the closed loop the average difference in output voltage error is obtained from The setting point voltage is 5 volts, namely 1.102.

**Keywords:** Buck converter; Open loop; Close loop; Output voltage Dc

## 1. PENDAHULUAN

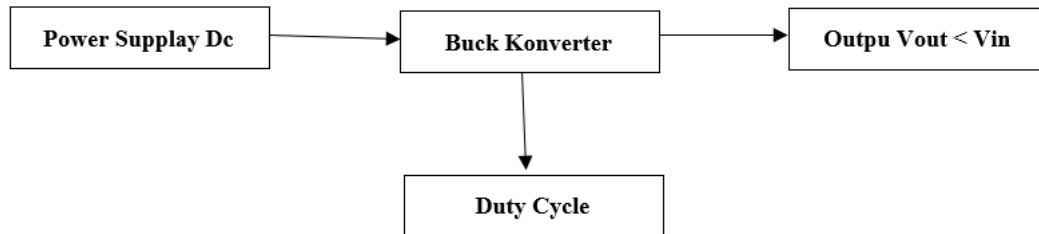
Perkembangan teknologi serta kemajuannya, menyebabkan peningkatan kebutuhan konverter daya yang memiliki kinerja yang tinggi dan efisiensi tinggi. Devis elektronik yang handal dapat diaplikasikan pada perangkat portabel dengan pengontrolan PID sebagai pengontrol untuk tegangan *ouput* agar stabil. Namun, sebelum mencapai tujuan tersebut, perlu dilakukan analisis mendalam terhadap rangkaian konverter Buck yang telah ada. Hal ini penting untuk memahami faktor-faktor apa saja yang dapat mempengaruhi efisiensi konverter Buck. Selain itu, simulasi juga diperlukan untuk memprediksi kinerja konverter Buck dalam berbagai kondisi operasional. Dengan demikian, kita dapat merancang perbaikan yang tepat guna meningkatkan efisiensi konverter Buck dan membuatnya lebih efektif dalam pengisian perangkat portabel 5 Volt (Diusti Dwi Putri & Aswardi, 2020). Terjadinya arus beban dan tegangan yang begitu bervariasi sehingga dilakukan perancangan buck konverter untuk menurunkan tegangan tersebut (Fuada & Husnaini, 2023). Pada umumnya tegangan jenis AC (*Alternating Current*) digunakan oleh masyarakat. Akan tetapi pada masa yang akan datang seperti saat ini tentang pengembangan teknologi yang semakin canggih serta membutuhkan tegangan DC dan memiliki efisiensi tinggi (Rachmad & Abuzairi, 2022). Buck Konverter adalah alat yang dapat menurunkan tegangan DC ke lebih rendah dari tegangan masukannya dari *batray* dan *power supply*. Buck konverter banyak digunakan karena dapat menurunkan tegangan DC sesuai dengan kebutuhan pengguna dan dapat diatur sesuai kebutuhan (Anggawan & Yuhendri, 2020).

Buck konverter diaplikasikan kedalam perangkat portabel yaitu beban variasi maka DC-DC konverter perlu dikendalikan atau diatur tegangannya tetap stabil tujuannya yaitu agar tidak mengganggu kinerja perangkat portabel yaitu beban variasi sehingga fungsi dan kegunaannya tidak berkurang dan tidak cepat rusak akibat tegangan listrik yang naik. Sehingga dilakukan pemilihan DC-DC konverter didasarkan atas nilai daya yang dihasilkan baik (H, 2021). Konfigurasi Buck Konverter akan mendapatkan yaitu efisiensi yang baik dengan rangkaian sederhana *open loop* dan *close loop*, sehingga nilai riak pada tegangan keluaran yang rendah membuat filter atau penyaringan relative kecil (Pulungan & Ramadhani, 2018).

Perancangan dan simulasi DC-DC konverter bertujuan mengamati, mengetahui, mengendalikan, serta menyesuaikan tegangan keluaran terhadap kebutuhan beban. Buck konverter mampu menghasilkan tegangan keluaran DC yang diperlukan pada peralatan elektronik berbeda - beda sehingga perancangan dan simulasi Buck konverter mampu menghasilkan tegangan keluaran DC untuk mealayani pada devis elektronika yang stabil (Elektro et al., 2020). Pemodelan yang dilakukan menggunakan perangkat lunak yang populer adaah matlab/simulink dan menggunakan data simulasi yang akurat untuk mengidentifikasi penyebab dari masalah tersebut. Dengan demikian, penggunaan konverter Buck dapat dioptimalkan untuk meningkatkan efisiensi dan performa saat menghadapi variasi beban yang ekstrem

dengan menggunakan kontroler konvensional. Dengan pendekatan ini, dapat dihindari risiko pengisian yang lambat dan tidak efektif serta kerusakan pada perangkat yang diisi dan mendapatkan efisiensi yang tinggi. Selain itu, pemodelan ini juga dapat memberikan pandangan yang jelas tentang bagaimana konverter Buck dapat disesuaikan dengan berbagai situasi beban yang mungkin terjadi (Mulia & Purnata, 2022).

## 2. METODOLOGI PENELITIAN



**Gambar 1.** Blok Diagram

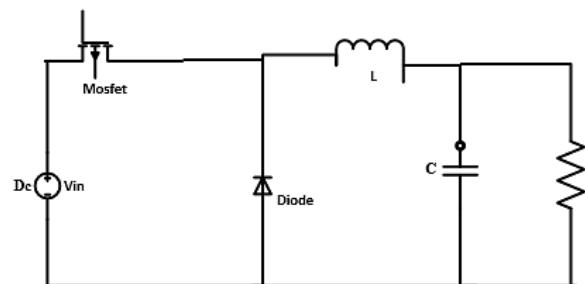
Metode penelitian menggunakan rangkaian simulasi *open loop* dan *close loop* buck konverter, pada rangkaian *open loop* mengatur tegangan masukan 12 volt. Sehingga didapatkan tegangan *ouput* ini lebih kecil dari tegangan inputnya karena disebabkan oleh nilai *duty cycle* yang bervariasi 5% - 99%, dengan frekuensi 50 kHz, nilai beban resistor tetap, dan beban induktif dan kapasitor dihitung, pada rangkaian *close loop* tegangan *ouput* dari buck konverter ini hampir stabil atau sama. Dengan tegangan input 12 volt - 24 volt dengan frekuensi *switching* 40 kHz, nilai beban resistor tetap, dan nilai beban induktif dan kapasitor dihitung, *Ouput* pada *close loop* diatur oleh PID sehingga bisa stabil sesuai dengan yang diinginkan oleh peneliti.

### 2.1 DC - DC Konverter

DC – DC konverter adalah sumber listrik DC yang diubah ke sumber listrik DC itu sendiri dengan keluaran lebih rendah. Listrik DC tersebut dapat diubah dan diatur tegangan dengan menggunakan rangkaian buck konverter secara konvensional. DC – DC konverter berasal dari sumber tegangan DC yang biasanya memiliki tegangan masukan yang tetap dan bervariasi. Sehingga tegangan keluaran DC yang ingin dicapai adalah dengan cara mengatur lamanya waktu sisi keluaran dan sisi masukan pada rangkaian (Alsumady et al., 2021).

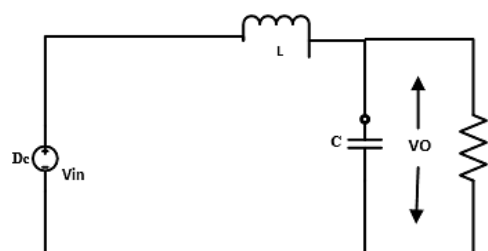
### 2.2 Buck Konverter

Buck konverter dapat menurunkan tegangan *input* ke lebih rendah, dengan memberikan *output* tegangan yang diatur. Buck konverter merupakan salah satu model DC-DC konverter yang paling dasar, yang mampu mengubah tegangan keluarannya menjadi lebih rendah. Serta nilai efisiensi yang baik dan desain rangkaian yang sederhana. Prinsip kerja buck konverter adalah mode konduksi (*on*) yaitu beban akan timbul tegangan sebesar tegangan sumber sedangkan pada mode tidak konduksi (*off*) tegangan pada beban menjadi nol (Daniel W. Hart, 1997:196).



**Gambar 2.** Buck Konverter

#### a. Mode ON



**Gambar 3.** Mode Switch On

Pada mode ini saklar *ON* (tertutup) dan dioda *OFF* (terbuka). induktor (*L*) adalah arus yang mengalir dari sumber dan mengisi arus pada induktor, sedangkan mengisi kapasitor (*C*), serta dilewati resistor (*R*). Berdasarkan Gambar 3. diperoleh  $V_L = V_i - V_o$  (Kazimierzuk, Marian. 2008:31).

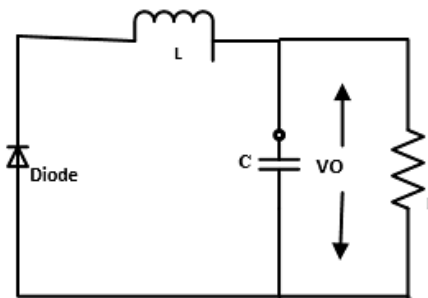
$$v_L = V_s - V_o = L \frac{di_L}{dt} \tag{1}$$

$$\frac{di_L}{dt} = \frac{V_s - V_o}{L} \tag{2}$$

$$\frac{\Delta i_L}{Dt} = \frac{V_s - V_o}{L}$$

$$(\Delta i_L)_{of} = \frac{V_s - V_o}{L} \tag{3}$$

b. Mode *OFF*



**Gambar 4.** Mode Switch Off

Gambar 4 menunjukkan terjadi bias maju pada dioda, pada inductor dilepaskan arus menuju dan kembali ke induktor. Dalam kondisi ini tegangan inductor  $V_L = -V_o$ , menghasilkan nilai negatif n karena arus pada induktor (*L*) menjadi bekurang. Tegangan melintasi induktor saat sakelar terbuka adalah:

$$v_L = -V_o = L \frac{di_L}{dt} \tag{4}$$

Mengatur

$$\frac{di_L}{dt} = \frac{-V_o}{L} \tag{5}$$

$$\frac{\Delta i_L}{\Delta t} = \frac{\Delta i_L}{(1-D)T} = -\frac{V_o}{L}$$

$$(\Delta i_L)_{on} = -\left(\frac{V_o}{L}\right) (1 - D)T \tag{6}$$

### 2.3 Perancangan Buck Konverter

Komponen penyusun yang digunakan antara lain : Sumber Tegangan Arus Searah Sumber Sumber tegangan searah sebesar 12 volt pada *open loop* dan 6 volt - 48 volt pada *close loop* untuk mensuplai rangkaian konverter arus searah. komponen pensaklaran yang digunakan ini adalah MOSFET. Dioda MUR460.

$$D = \frac{V_o}{V_{in}} = \frac{5}{12} = 42\%$$

Nilai resistor 10 Ω, Induktor.

$$L_{min} = \frac{(1-D) \times R}{2f} = \frac{(1-0.42) \times 10}{2(50.000)} = 0,00058H$$

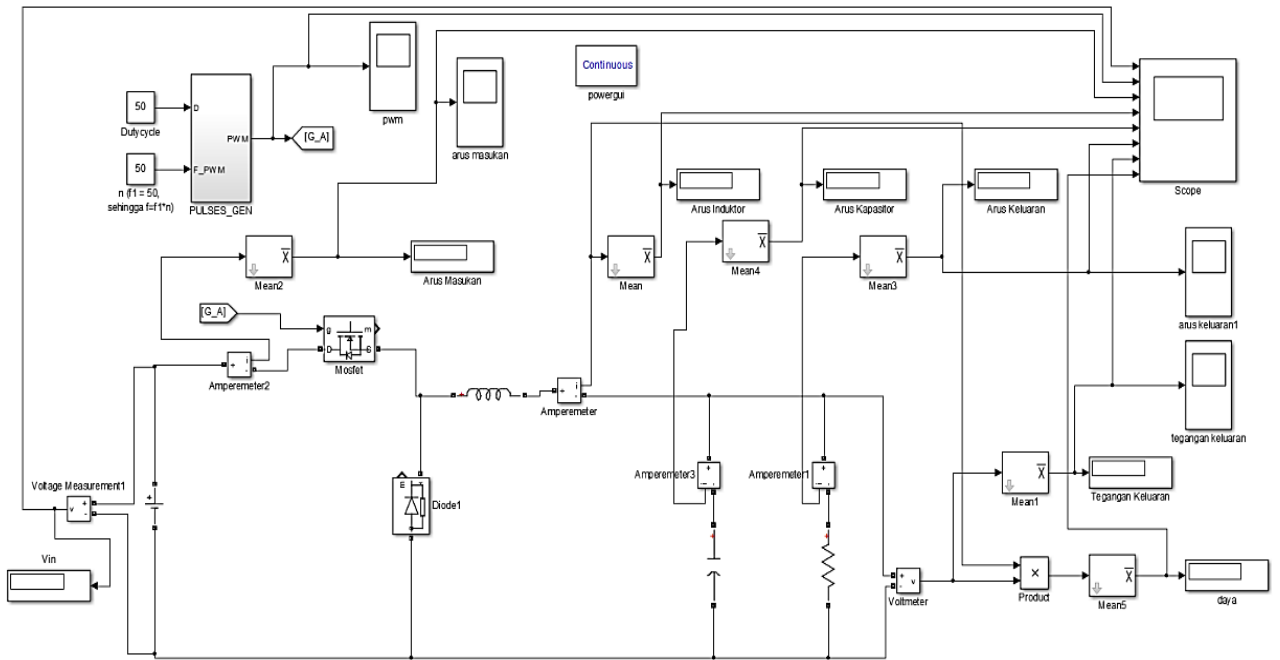
$$L = 1,25 \times L_{min} = 1,25 \times 0,00058 = 0,000725 H$$

Kapasitor

$$C = \frac{1-D}{8 \times (\Delta V_o / V_o) \times f^2} = \frac{1-0,42}{8 \times 0,000725 \times 0,05 \times (50.000)^2} = 0,000008 F$$

### 2.4 Perancangan Buck Konverter Open Loop

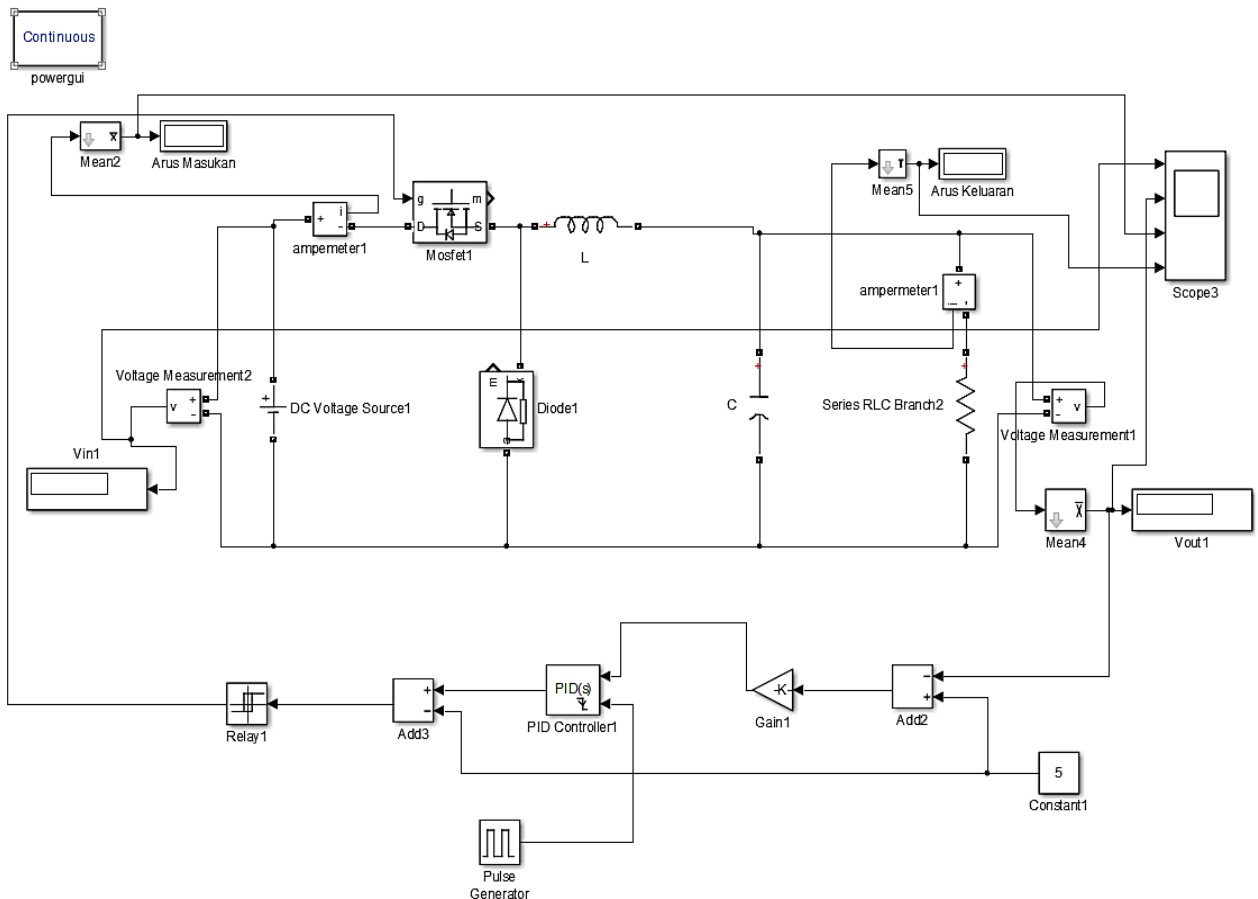
Parameter nilai diatur *input* tegangan 12 volt, *duty cycle* bervariasi 5% - 99%, nilai resistor 10 Ω, induktor 0,000725 H dari perhitungan, kapasitor 0,000008 F dari perhitungan, dan frekuensi 50 kHz Sehingga melihat perubahan hasil nilai tegangan keluarannya dari variasi *duty cycle*. Rangkaian sistem *open loop* seeperti pada Gambar 5.



Gambar 5. Rangkaian Buck Konverter *Open Loop*

### 2.5 Perancangan Buck Konverter Close Loop

Parameter nilai diatur *input* tegangan bervariasi yaitu 12 volt – 24 volt, *setting point* tegangan *ouput* 5 volt dan *duty cycle* 40% ditentukan dari hasil *open loop* yang tegangan keluarannya mendekati 5 volt yaitu 5,067 volt. Dan menggunakan PID untuk menstabilkan tegangan sesuai dengan tegangan yang diinginkan yaitu 5 volt. Rangkaian sistem *close loop* seperti Gambar 6.



Gambar 6. Rangkaian Buck Konverter *Close Loop*



### 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Analisa tingkat efisiensi yang tinggi dan pengaruh variasi nilai *duty cycle* untuk mendapatkan tegangan *ouput* 5 volt dan nilai tegangan keluarannya bisa distabilkan sesuai dengan bantuan rangkaian *close loop* buck konverter dengan pengujiannya dilakukan secara simulasi menggunakan *software*.

#### 3.1 Simulasi Buck Konverter

Mengatur tegangan *input* 12 volt, Resistor 10 Ω, induktor 0,000725 H dari perhitungan, kapasitor 0,000008 F dari perhitungan, dan frekuensi 50 kHz Sehingga mencatat hasil nilai keluaran pada simulasi berupa tegangan keluaran, arus *input* (A), arus *output* (A), daya *input*, daya *ouput*, dan efisiensi. Peneleitian ini memvariasikan nilai *duty cycle* 5% - 99% .

Selanjutnya dilakukan simulasi pada mode operasi buck konverter *close loop*. Dengan *setting point* tegangan *output* 5 volt dan nilai *duty cycle* 40% dari rangkaian *open loop* karena mendakati tegangan keluaran 5 volt dan di sisi beban dipasang sebesar 10 Ω, inductor 0,000725 H dari perhitungan, kapasitor 0,000008 F dari perhitungan, dan frekuensi 50 kHz Sehingga mencatat hasil nilai keluaran pada simulasi berupa tegangan keluaran, arus *input*, arus *output*, selisih error. Pada simulasi ini penulis memvariasikan nilai tegangan input 12 volt – 24 volt .

#### 3.2 Hasil Dan Analisa Buck Konverter

**Tabel 1.** Hasil Buck Konverter *Open Loop*

<i>Duty cycle</i>	Vin (v)	Iin (A)	Iout (A)	Vout Ukur(v)	Vout Hitung(v)	Selisih error	Pin	Pout	Efisiensi
0,05	12	0,007549	0,04971	0,4971	0,6	-0,102	0,090588	0,024711	27,27827
0,1	12	0,02739	0,1152	1,152	1,2	-0,048	0,32868	0,13271	40,37678
0,15	12	0,05827	0,1817	1,817	1,8	0,017	0,69924	0,330149	47,21539
0,2	12	0,09836	0,2478	2,478	2,4	0,078	1,18032	0,614048	52,02389
0,25	12	0,1458	0,3136	3,136	3	0,136	1,7496	0,98345	56,20997
0,3	12	0,1981	0,3784	3,784	3,6	0,184	2,3772	1,431866	60,23328
0,35	12	0,2535	0,4429	4,429	4,2	0,229	3,042	1,961604	64,48403
0,4	12	0,3101	0,5067	5,067	4,8	0,267	3,7212	2,567449	68,99519
0,45	12	0,3664	0,5703	5,703	5,4	0,303	4,3968	3,252421	73,97245
0,5	12	0,6994	0,7337	7,337	6	1,337	8,3928	5,383157	64,14018
0,55	12	0,762	0,8012	8,012	6,6	1,412	9,144	6,419214	70,20138
0,6	12	0,8116	0,8568	8,568	7,2	1,368	9,7392	7,341062	75,37644
0,65	12	0,8532	0,9058	9,058	7,8	1,258	10,2384	8,204736	80,1369
0,7	12	0,885	0,9426	9,426	8,4	1,026	10,62	8,884948	83,66241
0,75	12	0,9109	0,9742	9,742	9	0,742	10,9308	9,490656	86,8249
0,8	12	0,9311	0,9969	9,969	9,6	0,369	11,1732	9,938096	88,94584
0,85	12	0,9797	1,047	10,47	10,2	0,27	11,7564	10,96209	93,24359
0,9	12	1,038	1,097	10,97	10,8	0,17	12,456	12,03409	96,6128
0,95	12	1,106	1,143	11,43	11,4	0,03	13,272	13,06449	98,43648
0,99	12	1,171	1,179	11,79	11,88	-0,09	14,052	13,90041	98,92122

Berdasarkan Tabel 1 dapat diketahui bahwa nilai frekuensinya ditetapkan yaitu 50 kHz dengan Tegangan sumber 12 Volt, nilai resistor 10 Ω, induktor 0, 000725 H dan kapasitor 0,000008 F. Dengan *Duty cycle* yang berbeda-beda yaitu 5% - 99% pada percobaan ini kita dapat mengetahui pengaruh *Duty cycle* terhadap tegangan keluaran, Dimana tegangan keluar yang mendekati 5 volt ada pada *Duty cycle* 40 % yaitu V ukur 5,067 volt, V Hitung 4,8 volt dengan selisih error -0,267 dan nilai efisiensi yang paling tinggi adalah 98,92122 %. Nilai Iin dan Iout semakin besar seiring dengan besarnya nilai *duty cycle* yang sudah ditentukan, itu dikarenakan nilai *duty cycle* membuat Vout semakin besar dan beban bernilai tetap maka Iout berbanding lurus dengan nilai Vout sesuai dengan rumus  $I = V/Z$ .

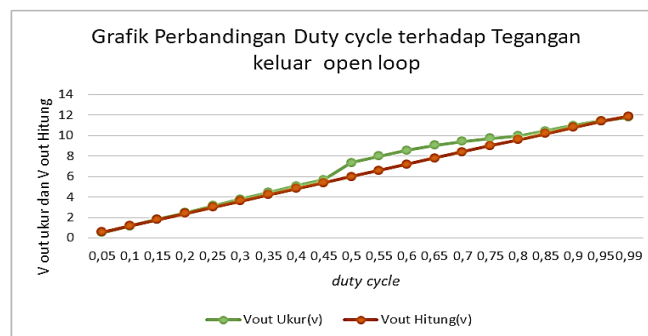
Berdasarkan Tabel 2 dapat diketahui bahwa *setting point* tegangan *ouputnya* yaitu 5 volt dan nilai frekuensinya ditetapkan yaitu 50 kHz dengan *Duty cycle* 40 %, nilai resistor 10 Ω, induktor 0, 000725 H dan kapasitor 0,000008 F.

**Tabel 2.** Hasil Buck Konverter *Close Loop*

Vin (v)	I input (A)	I output (A)	Vout		selisih error
			Ukur (v)	Set point (v)	
12	0,5837	0,4943	4,943	5	-0,057
12,5	0,6993	0,6507	6,507	5	1,507
13	0,6902	0,6592	6,592	5	1,592
13,5	0,7303	0,665	6,65	5	1,65
14	0,6519	0,5327	5,327	5	0,327
14,5	0,7495	0,6696	6,696	5	1,696

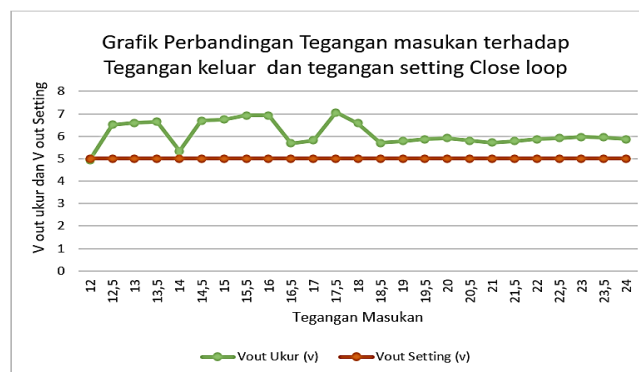
Vin (v)	I <sub>input</sub> (A)	I <sub>output</sub> (A)	V <sub>out</sub>		selisih error
			Ukur (v)	Set point (v)	
15	0,7574	0,675	6,75	5	1,75
15,5	0,7586	0,6933	7	5	2
16	0,7789	0,6934	6,934	5	1,934
16,5	0,6038	0,568	5,68	5	0,68
17	0,6097	0,5821	5,821	5	0,821
17,5	0,7977	0,7053	7,053	5	2,053
18	0,7991	0,6572	6,572	5	1,572
18,5	0,6231	0,5694	5,694	5	0,694
19	0,63	0,5781	5,781	5	0,781
19,5	0,6363	0,5863	5,863	5	0,863
20	0,6414	0,5909	5,909	5	0,909
20,5	0,6421	0,5799	5,799	5	0,799
21	0,642	0,571	5,71	5	0,71
21,5	0,649	0,5789	5,789	5	0,789
22	0,6554	0,5862	5,862	5	0,862
22,5	0,6609	0,592	5,92	5	0,92
23	0,6654	0,5959	5,959	5	0,959
23,5	0,668	0,5952	5,952	5	0,952
24	0,6671	0,5871	5,871	5	0,871

Dengan tegangan sumber yang berbeda-beda yaitu 12 volt – 24 volt pada percobaan ini kita dapat mengetahui bahwa tegangan keluaran tidak jauh atau stabil dari nilai *setting point* 5 volt dengan nilai rata – rata selisih error antara tegangan *setting point* dengan tegangan keluaran yang dihasilkan pada rangkaian adalah 1,102. Hal ini sesuai dengan keinginan penelitian untuk mendapatkan nilai 5 volt.



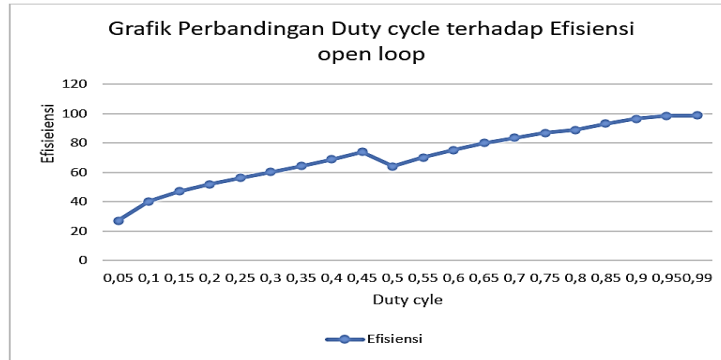
**Gambar 7.** Grafik Perbandingan *Duty Cycle* Terhadap Tegangan Keluar *Open Loop*

Berdasarkan Gambar 7 besar persentase *Duty cycle* didapatkan *output* semakin naik karena *duty cycle* berbanding lurus dengan tegangan keluar sesuai dengan persamaan  $V_{out} = V_s \times D$ , nilai yang mendekati tegangan keluaran 5 volt adalah *duty cycle* 40% dengan tegangan keluar ukur 5,06 volt, tegangan hitung 4,8 volt. dan hal ini juga sesuai dengan fungsi *Duty cycle* sebagai pengatur tegangan keluaran, *duty cycle* merupakan perbandingan keadaan saklar terbuka dan periode penyalaan. Tegangan keluaran merupakan nilai rata-rata dari keadaan saklar yang terbuka dan tertutup.



**Gambar 8.** Grafik Perbandingan Tegangan Masukan Terhadap Tegangan Keluar Dan Setting *Close Loop*

Berdasarkan Gambar 8 semakin besar tegangan masukan maka tegangan keluaran yang dihasilkan akan stabil dengan *setting point* tegangan keluar 5 volt. Hal ini sesuai dengan keinginan penelitian bahwa rangkaian *close loop* dapat mengatur nilai tegangan keluarannya.



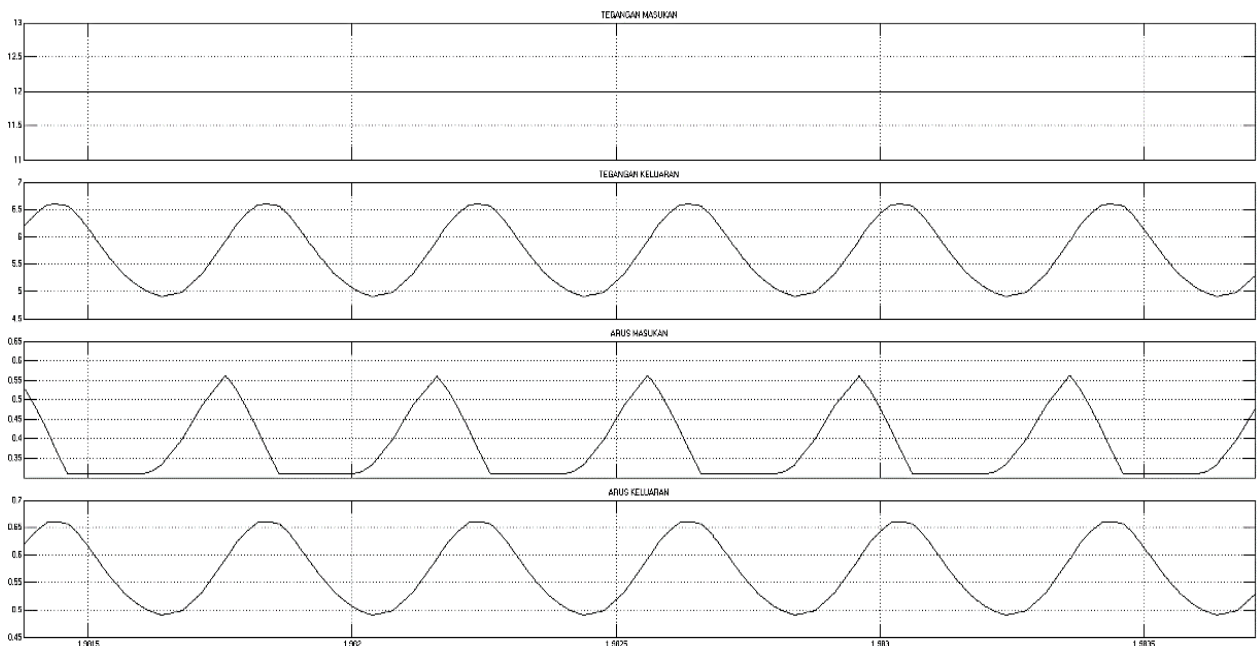
**Gambar 9.** Grafik Perbandingan *Duty Cycle* Terhadap Efisiensi *Open Loop*

Berdasarkan Gambar 8 semakin besar *duty cycle* maka nilai Efisiensi dihasilkan juga besar karena *duty cycle* dan Efisiensi berbanding lurus sesuai dengan persamaan Efisiensi =  $\frac{P_{out}}{P_{in}} \times 100\%$ , nilai efisiensi terbaik yaitu nilai *duty cycle* 99% yaitu 98,92122 %. Dan *Duty cycle* 40 % tegangan keluar 5,067 volt.



**Gambar 10.** Grafik Perbandingan tegangan masukan Terhadap Selisih Error *Close Loop*

Berdasarkan Gambar 9 dapat dianalisa bahwa semakin besar nilai tegangan masukan dari 12 - 24 volt maka tegangan keluaran yang dihasilkan tidak jauh dari nilai *setting point* yaitu 5 volt sehingga didapatkan nilai rata – rata selisih error sebesar 1,102.



**Gambar 11.** Gelombang Hasil Simulasi Pada *Duty Cycle* 40%

Berdasarkan gambar 11 bahwa hasil gelombang diatas dapat dianalisa bahwa ketika nilai *duty cycle* 40% maka nilai tegangan keluaran akan mendekati nilai 5 volt yaitu 5,06 volt pada hasil simulasi dimana menurunkan nilai tegangan masukan 12 volt menjadi 5,06 volt hal ini sesuai dengan fungsi buck konverter.



#### 4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil pengujian rangkaian buck konverter *open loop* tegangan keluaran yang diinginkan oleh peneliti mendekati nilai 5 volt ada pada *Duty cycle* 40% sebesar V ukur 5,067 volt, V Hitung 4,8 volt dengan selisih error 0,267. Dengan nilai efisiensi tinggi 98,92122 % pada nilai *duty cycle* 99%. Dan rangkaian *close loop* berfungsi untuk mengatur nilai tegangan keluaran yang tidak jauh atau stabil dari nilai *setting point* 5 volt sehingga didapatkan rata-rata selisih error tegangan *ouput* dari tegangan *setting point* 5 volt yaitu 1,102.

#### REFERENCES

- Alfikri, A. M., & Rahayu, ; Sofitri. (2024). *Rancang Bangun Buck Converter Efisiensi Tinggi Dengan Pengendali Arduino Nano Berbasis Simulasi Multisim 14.2*. 12(2), 148–159. <https://doi.org/10.33322/kilat.v12i2.1875>
- Alsumady, M. O., Alturk, Y. K., Dagamseh, A., & Tantawi, M. (2021). Controlling of dc-dc buck converters using microcontrollers. *International Journal of Circuits, Systems and Signal Processing*, 15(April), 197–202. <https://doi.org/10.46300/9106.2021.15.22>
- Anggawan, A., & Yuhendri, M. (2020). *Implementasi Kendali Tegangan Output Buck Converter Berbasis Simulink Matlab*. 2(1), 34–39.
- Buntulayuk, H., Samman, F. A., & Yusran, Y. (2018). Rancangan DC-DC Converter untuk Penguatan Tegangan. *Jurnal Penelitian Enjiniring*, 21(2), 78–82. <https://doi.org/10.25042/jpe.112017.12>
- Cahyadi, L. W., & Andromeda, T. (n.d.). *KINERJA KONVERTER ARUS SEARAH TIPE BUCK CONVERTER DENGAN UMPAN BALIK TEGANGAN BERBASIS TL494*.
- Diusti Dwi Putri, S., & Aswardi. (2020). Rancang Bangun Buck-Boost Converter menggunakan Kendali PID. *Jurnal Teknik Elektro Dan Vokasional*, 6(02), 1–15.
- Efendi, Z., & Mursyida, D. (n.d.). *Rancang Bangun Modul DC – DC Converter Dengan Pengendali PI*. 1–5.
- Elektro, J. T., Teknik, F., Mataram, U., Elektro, J. T., Teknik, F., & Mataram, U. (2024). *JOURNAL OF ENERGY AND ELECTRICAL ENGINEERING DESAIN DAN SIMULASI DC-DC SHUNT BUCK CONVERTER EFISIENSI TINGGI MENGGUNAKAN KONTROL LOGIKA*. 81–88.
- Elektro, P. T., Elektro, J. T., & Teknik, F. (2020). *IMPLEMENTASI DESAIN BUCK CONVERTER DENGAN PID CONTROLLER MENGGUNAKAN METODE TUNING GENETIC ALGORITHM ( GA )*.
- Farhan, F., & Sujanarko, B. (2022). *Pengaruh Frekuensi dan Duty Cycle pada Ripple Tegangan Buck Converter*. 9(1), 51–61.
- Fuada, N., & Husnaini, I. (2023). Rancang Bangun Buck Converter dengan Kontrol PID Berbasis Mikrokontroler Arduino. *JTEIN: Jurnal Teknik Elektro Indonesia*, 4(2), 781–791. <https://doi.org/10.24036/jtein.v4i2.513>
- Guldemir, H. (2011). Study of Sliding Mode Control of DC-DC Buck Converter. *Energy and Power Engineering*, 03(04), 401–406. <https://doi.org/10.4236/epe.2011.34051>
- H, D. S. (2021). *PERANCANGAN BUCK CONVERTER 24VDC-12VDC DENGAN KAPASITAS 500W BERBASIS TL494*. 274–283.
- Hilmansyah, H., & Utomo, R. M. (2020). Rancang Bangun Dc – Dc Converter Berbasis Microcontroller Stm32F4 Dan Matlab/Simulink. *JTT (Jurnal Teknologi Terpadu)*, 8(1), 26–33. <https://doi.org/10.32487/jtt.v8i1.777>
- Kazimerczuk, Marian. (2008). *Pulse-Widht Modulated DC-DC Power Converters*”. Wright state University Dayton, Ohio, USA
- Mulia, Y., & Purnata, H. (2022). *Perancangan Sistem Penurun Tegangan dengan Menggunakan DC – DC Buck Converter*. November, 109–115.
- Of, D., Converter, B., On, B., Current, L., & Arduino, U. (2018). *PERANCANGAN BUCK CONVERTER BERDASARKAN ARUS BEBAN*. 5(1), 54–63.
- Pulungan, A. B., & Ramadhani, T. (2018). *Buck Converter Sebagai Regulator Aliran Daya Pada Pengereman Regeneratif*. 93–97.
- Rachmad, R. W., & Abuzairi, T. (2022). *Simulasi Efisiensi Buck Converter Asynchronous dan Synchronous Berdasarkan Variasi Nilai Duty Cycle dan Beban Efficiency Simulation of Asynchronous and Synchronous Buck Converter Based on Duty Cycle and Load Variation*. November, 9–19.
- W.Hart, Danil. (1997). *Introduction to Power Electronics*. Valparaiso University, Indiana: Prince-Hall International, Inc
- Wibowo, E. A., Hazman, H., & Husnaini, I. (n.d.). *Rancang Bangun Pengisian Baterai Menggunakan Buck Converter*. 1.