

Analisis Dan Simulasi Boost Converter Berbasis Kontroler Konvensional Dengan Metode Persamaan Garis

Mila Wahyuni ¹, I Ketut Wiryajati ², I Nyoman Wahyu Satiawan ³

^{1,2,3} Fakultas Teknik, Program Studi Teknik Elektro, Universitas Mataram, Mataram, Indonesia

* Email untuk Korespondensi: milaaawhyuni@gmail.com, kjatiwirya@unram.ac.id, nwahyus@unram.ac.id

ABSTRAK

Perkembangan teknologi dibidang elektronika dan meningkatnya kebutuhan tegangan DC (*Direct Current*) cukup pesat, hampir semua peralatan elektronika membutuhkan sumber tegangan DC baik itu untuk meningkatkan tegangan. Salah satu komponen elektronika adalah *boost converter* dimana DC-DC konverter ini yang menghasilkan tegangan keluaran lebih besar dari tegangan masuknya, dengan mengatur *duty cycle* pada mode *open loop* sedangkan mode *close loop* adalah menjaga kestabilan tegangan keluaran sesuai dengan setting menggunakan kontroler PI. Tugas akhir ini bertujuan untuk mengetahui performa dari rangkaian simulasi boost converter menggunakan software SIMULINK/MATLAB serta untuk mengetahui pengaruh *duty cycle*, dan tegangan input yang bervariasi terhadap tegangan keluaran. Pengujian pada mode *open loop* dilakukan dengan mengatur tegangan input konstan 9 Volt, frekuensi switching 40 KHz, dengan variasi *duty cycle* 5% sampai 62.5% dan beban yang diberikan sebesar 16 Ω . Dari pengujian dihasilkan tegangan keluaran minimum pada saat *duty cycle* diatur 5% yaitu 8.96 Volt, sedangkan saat *duty cycle* 62.5% menghasilkan tegangan keluaran maksimum yaitu 23.99 Volt. Selisih yang paling tinggi didapatkan pada saat percobaan ke 12 yaitu 1.45 Volt, dan nilai efisiensi terbesar adalah 88.3% pada saat nilai *duty cycle* diatur 62.5%. Sedangkan pada pengujian mode *close loop*, tegangan masukan divariasikan dari 9 Volt sampai 17 Volt, konfigurasi untuk nilai parameter PI konstan yaitu nilai K_p 0.5 dan K_i 28, dengan mengatur nilai set point 24 Volt pada setiap pengujian. Hasil respon tegangan keluaran yang dihasilkan lebih optimal yaitu pada saat tegangan masukan diatur 17 Volt sebesar 23.98 Volt sehingga selisih/error dapat mencapai 0.02 Volt.

Kata kunci:

Boost Converter;
Close Loop, Open Loop,
Tegangan,
Kontroler

Keywords:

Boost Converter, Close Loop, Open Loop, Voltage, Controller

The development of technology in the field of electronics and the increasing need for DC (Direct Current) voltage are progressing rapidly. Almost all electronic devices require a DC voltage source, whether to boost the voltage or for other purposes. One electronic component is the boost converter, which produces an output voltage greater than its input voltage by adjusting the duty cycle in open-loop mode, while in closed-loop mode, it maintains the stability of the output voltage according to the setpoint using a PI controller. This final project aims to evaluate the performance of a boost converter simulation circuit using SIMULINK/MATLAB software and to examine the influence of varying duty cycles and input voltages on the output voltage. Testing in open-loop mode was conducted by setting a constant input voltage of 9 volts, a switching frequency of 40 kHz, with duty cycle variations from 5% to 62.5%, and a load of 16 Ω . The minimum output voltage obtained was 8.96 volts at a 5% duty cycle, while the maximum output voltage was 23.99 volts at a 62.5% duty cycle. The highest difference was observed during the 12th experiment, which was 1.45 volts, with the highest efficiency recorded at 88.3% when the duty cycle was set to 62.5%. Meanwhile, in closed-loop mode testing, the input voltage was varied from 9 volts to 17 volts, with constant PI parameter values of $K_p = 0.5$ and $K_i = 28$, and a setpoint of 24 volts in each test. The most optimal output voltage response was achieved when the input voltage was set to 17 volts, resulting in an output voltage of 23.98 volts, with an error of 0.02 volts.

Ini adalah artikel akses terbuka di bawah lisensi [CC BY-SA](#).
This is an open access article under the [CC BY-SA](#) license.

PENDAHULUAN

Teknologi komponen dan perangkat keras elektronik telah berkembang hingga dapat menghasilkan sistem arus searah atau DC untuk sumber daya, yang dicapai dengan mengubah daya DC menjadi tegangan lebih tinggi atau lebih rendah. (Buntulayuk, 2017). Komponen elektronika mampu menghasilkan tegangan keluaran yang lebih tinggi atau lebih rendah dengan mengkonversi tegangan DC masukan ke bentuk tegangan DC keluaran yang disebut sebagai DC-DC konverter. DC-DC konverter berfungsi untuk menurunkan dan menaikkan tegangan sumber searah (DC) sesuai kebutuhan (Nugraha & Eviningsih, 2022; Vebbryadi, 2022). Pada dasarnya, hasil keluaran DC yang ingin dicapai adalah dengan cara pengaturan lamanya waktu penghubungan antara sisi output dan sisi input pada rangkaian yang sama. Pengontrolan dilakukan dengan memberikan sinyal tegangan dengan cara mengatur waktu *ON* dan waktu *OFF switch* (Hushaini et al., 2019).

DC-DC konverter atau dikenal dengan sebutan DC *chopper* merupakan piranti yang mengubah sumber tegangan DC konstan menjadi tegangan keluaran *variable*. Ada beberapa macam topologi dari DC *Chopper* baik sebagai *buck*, *boost* maupun *buck-boost converter* (Mudawari, 2021). Secara umum ada tiga fungsi pengoperasian DC-DC konverter yaitu, yang pertama penurunan tegangan DC (*buck converter*) dimana tegangan keluaran yang dihasilkan lebih rendah dari tegangan masukan, kedua penaikan tegangan (*boost converter*) dimana tegangan keluaran yang dihasilkan lebih tinggi dari tegangan masukan, dan ketiga penaikan atau penurunan tegangan (*buck-boost converter*) dimana tegangan keluarannya bisa lebih rendah atau lebih tinggi dari tegangan masukan (Rahmawati, 2018).

Konverter DC mempunyai 2 mode operasi kerja, yaitu mode DCM (*Discontinous Conduction Mode*) dan mode CCM (*Continous Conduction Mode*), mode DCM adalah mode dimana arus *inductor* pada *converter* mencapai nilai nol, atau tidak *continue*. Mode CCM adalah mode dimana arus *inductor* pada *converter* mengalir secara *continue*, dalam artian tidak pernah mencapai nilai nol (Fathurachman et al., 2018). *Boost converter* dapat beroperasi dalam mode konduksi kontinu atau terputus-putus, tergantung pada bentuk gelombang arus induktor. *Boost converter* di DCM tidak dapat beroperasi pada $RL = \infty$ karena kapasitor filter tidak memiliki jalur pelepasan (Kazimierczuk, 2008)

Pada kehidupan sehari-hari banyak digunakan teknologi converter elektronika daya contohnya digunakan converter DC pada panel surya. Panel surya menghasilkan tegangan keluaran yang rendah dan butuh alat untuk menaikkan tegangan (Harselina & Hendri, 2019). Pemanfaatan panel surya sebagai pembangkit biasanya dihubungkan langsung dengan beban pada level tegangan yang rendah, mengakibatkan tidak sesuai dengan tegangan yang diperlukan (Ananto & Santoso, 2021). 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, *Boost converter* sebagai salah satu converter untuk menaikkan tegangan memiliki keunggulan dibanding converter penaik tegangan yang lain seperti *buck boost converter* yang bisa menaikkan dan menurunkan tegangan, *boost converter* memiliki efisiensi yang tinggi untuk aplikasi tertentu seperti sistem fotovoltaic atau kendaraan Listrik, serta menghasilkan tegangan output yang lebih stabil dan terkendali. (Assyidiq et al., 2017)

Dengan mempertimbangkan segala aspek dan pengaruh dari implementasi parameter PID terhadap kinerja proses sistem inverter satu fasa maka dipilih untuk merancang sistem inverter satu fasa yang menggunakan sistem kendali Proporsional-Integral. Hal ini didasari karena pada pengaplikasian di lapangan, Kontrol Proporsional-Integral biasa digunakan untuk pengontrolan proses yang memiliki dinamika relatif cepat (seperti aliran, tekanan, dan level). Berdasarkan sebuah survey dinyatakan bahwa hampir 80% kontroler PID yang terpasang di industri menggunakan kontrol PI dalam operasinya. Sinyal kontrol proportional-integral digunakan untuk mengumpukan balikkan nilai keluaran tegangan dari *boost converter* dengan mengontrol variabel sinyal dengan suatu nominal konstanta tertentu (K_p dan K_i) (Irkham et al., 2019). Pengontrol PI adalah studi khusus pengontrol PID di mana *derivatif* dari sistem tidak digunakan. Kurangnya aksi *derivatif* membuat sistem lebih stabil di wilayah *steady state* jika terjadi data yang *overshoot*, karena kinerja *derivatif* lebih sensitif terhadap *input* frekuensi yang lebih tinggi. Pada *boost converter*, frekuensi *switching* yang digunakan sangat tinggi sehingga, pengontrol PI dipilih untuk mengamati kinerja keseluruhan. (M. M. Nishat, M. A. M. Oninda, F. Faisal, 2018).

Berdasarkan permasalahan yang sering terjadi, salah satunya adalah kurangnya dihasilkan tegangan keluaran pada panel surya sehingga dalam penelitian ini dirancang *boost converter* untuk mendapatkan tegangan

keluaran yang lebih besar dari tegangan masukan serta untuk menstabilkan tegangan keluaran yang dihasilkan. Tegangan *output boost converter* dikendalikan dengan kontrol PI, untuk rangkain *boost converter close loop* sedangkan rangkain *open loop*, tegangan keluarannya diatur oleh nilai *duty cycle* dari PWM, dengan tahapan perhitungan komponen *boost converter*, simulasi menggunakan *software matlab*, analisa *boost converter mode open loop* dan *close loop*. Tugas akhir ini bertujuan untuk merancang modul DC-DC Boost dan mengetahui tingkat efisiensi serta pengaruh komponen *switching* dari penggunaan *boost converter*. Pengujian sistem secara simulasi menggunakan *software SIMULINK/MATLAB*.

Penelitian sebelumnya oleh Melzi Ambar Mazta dkk, membahas tentang dc-dc *boost converter*, arus masukan dan tegangan keluaran masih menghasilkan ripple yang cukup besar. Ripple merupakan masalah yang mengurangi kehandalan dari konverter itu sendiri. Sehingga diperlukan metode perbaikan untuk mengurangi ripple pada boost converter (Mazta et al., 2016). Perbedaan utama antara penelitian sebelumnya dengan penelitian yang dilakukan terletak pada pendekatan dan fokus utama masing-masing. Persamaan penelitian sebelumnya dengan penelitian yang dilakukan terletak pada tujuan yang sama, yaitu meningkatkan efisiensi dan performa boost converter, meskipun melalui pendekatan yang berbeda.

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk menganalisis dan mensimulasikan kinerja boost converter yang dikendalikan oleh kontroler konvensional menggunakan metode persamaan garis. Penelitian ini bertujuan untuk memahami lebih dalam karakteristik dan respons dari boost converter dalam berbagai kondisi operasi serta mengevaluasi keefektifan metode persamaan garis dalam mengendalikan konverter tersebut.

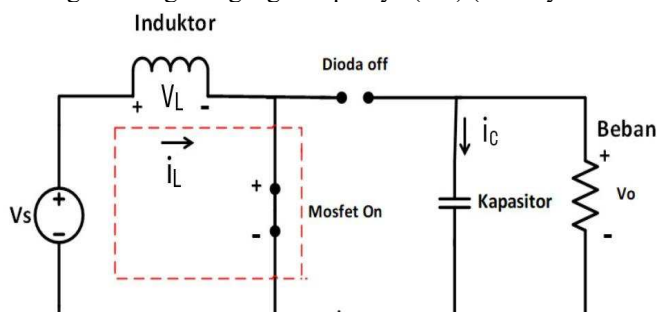
Manfaat penelitian ini meliputi peningkatan efisiensi dan stabilitas sistem tenaga listrik, khususnya dalam aplikasi yang memerlukan konversi tegangan yang efisien dan stabil. Selain itu, hasil penelitian ini dapat digunakan sebagai referensi untuk pengembangan kontroler yang lebih efektif dan efisien dalam sistem konverter daya, yang pada gilirannya dapat meningkatkan kinerja perangkat elektronik dan sistem energi terbarukan.

Urgensi dari penelitian ini terletak pada kebutuhan yang mendesak untuk meningkatkan efisiensi energi dan stabilitas dalam sistem konversi daya, terutama dengan semakin meningkatnya penggunaan perangkat elektronik dan sistem energi terbarukan. Dengan pemahaman yang lebih baik tentang cara mengendalikan boost converter menggunakan metode persamaan garis, penelitian ini berpotensi memberikan solusi yang inovatif dan praktis untuk tantangan dalam manajemen daya listrik. Hal ini sangat penting dalam mendukung perkembangan teknologi hijau dan keberlanjutan energi di masa depan.

METODE

Dasar Penelitian

Prinsip kerja *boost converter* adalah dengan menggunakan *switch* (penyaklaran) yang bekerja secara terus-menerus (kondisi *on-off*), adapun dikenal dengan istilah PWM (*pulse width modulation*) dan *duty cycle*. Pada sistem kerja rangkaian terbagi menjadi 2 mode, yaitu *switch ON* dan *switch OFF*, dapat dilihat pada Gambar 1 dan 2. Saat mode *switch on* (kondisi saklar tertutup/terhubung) dan dioda dalam kondisi bias mundur (dioda *off*), maka arus induktor (i_L) mengalir searah jarum jam dari sumber menuju ke induktor sehingga terjadi pengisian arus pada induktor dan menyebabkan energi yang tersimpan pada induktor naik. Pada saat mode *switch off*, kondisi saklar terbuka (terputus) dan dioda dengan kondisi bias maju (dioda *on*), maka arus induktor (i_L) ini akan mengalir menuju beban melewati dioda sehingga energi yang tersimpan di induktor akan turun karena tegangan induktor (v_L) sedang melepaskan energinya dan menyebabkan tegangan keluaran (v_o) menjadi lebih tinggi dibandingkan dengan tegangan inputnya (v_{in}) (Vebbryadi Vebbryadi, 2022).



Gambar 1 Boost converter switch on

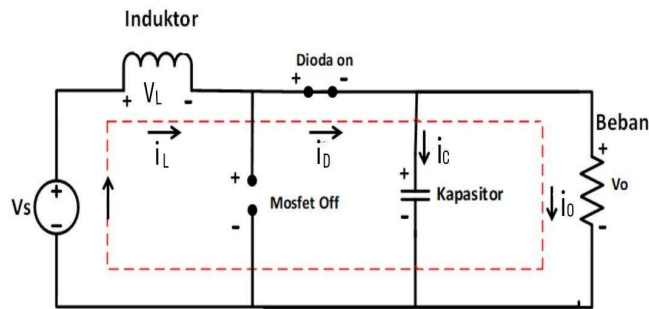
Dari **Gambar 1** didapatkan persamaan berikut:

$$V_s = V_L(t) \dots\dots\dots(1)$$

$$V_C(t) = V_O \quad \dots\dots\dots(2)$$

besar tegangan pada inductor adalah:

$$\begin{aligned} V_L(t) &= L \frac{di_L}{dt} \\ \frac{\Delta i_L(t)}{DT} &= \frac{V_S}{L} \\ \Delta i_L(t)_{on} &= \frac{V_S}{L} DT \end{aligned} \quad \dots\dots\dots(3)$$



Gambar 2 Boost converter switch off

Dari **Gambar 2** dapat dijelaskan bahwa tegangan pada resistor (V_O) dan tegangan pada kapasitor (V_C) memiliki nilai yang sama karena terhubung paralel, sehingga:

$$V_L(t) = V_S - V_O \quad \dots\dots\dots(4)$$

$$\begin{aligned} L \frac{di_L}{dt} &= \frac{V_S - V_O}{L} \\ \frac{\Delta i_L(t)}{\Delta t} &= \frac{V_S - V_O}{L} \\ \frac{\Delta i_L(t)}{t_{off}} &= \frac{V_S - V_O}{L} \\ \frac{\Delta i_L(t)}{(1-DT)} &= \frac{V_S - V_O}{L} \\ \Delta i_L(t)_{off} &= \frac{(V_S - V_O)(1-D)T}{L} \end{aligned} \quad \dots\dots\dots(5)$$

Sehingga untuk menghitung V_O , dapat dilihat pada persamaan berikut:

$$\Delta i_L(t)_{on} + \Delta i_L(t)_{off} = 0 \quad \dots\dots\dots(6)$$

$$\begin{aligned} \frac{V_S}{L} DT &= - \frac{(V_S - V_O)(1-D)T}{L} \\ V_S \cdot D &= -(V_S - V_O)(1-D) \\ V_S \cdot D + V_S - V_S \cdot D - V_O + V_O \cdot D &= 0 \\ V_S(D + 1 - D) - V_O(1-D) &= 0 \\ V_O &= \frac{V_S}{(1-D)} \end{aligned} \quad \dots\dots\dots(7)$$

Komponen pada rangkaian dianggap ideal, sehingga dapat menggunakan hukum kekekalan daya untuk mendapatkan hubungan antara arus dan tegangan. Dapat ditulis sebagai berikut:

$$\begin{aligned} P_{in} &= P_{out} \\ P_{in} &= V_{in} \times I_{in} \\ P_{out} &= V_{out} \times I_{out} = \frac{V_{out}^2}{R} \end{aligned} \quad \dots\dots\dots(8)$$

$$\begin{aligned} V_{in} \times I_{in} &= V_{out} \times I_{out} \\ V_O &= \frac{V_S}{(1-D)} \end{aligned} \quad \dots\dots\dots(9)$$

Penentuan nilai induktor pada *boost converter* pada mode CCM dengan 0 sebagai batasan paling bawah:

$$\begin{aligned}
 0 &= \frac{V_s}{(1-D)^2 R} - \frac{D V_s}{2Lf} \\
 \frac{V_s}{(1-D)^2 R} &= \frac{D V_s}{2Lf} \\
 (L)_{\min} &= \frac{D(1-D)^2 R}{2f}
 \end{aligned}
 \tag{10}$$

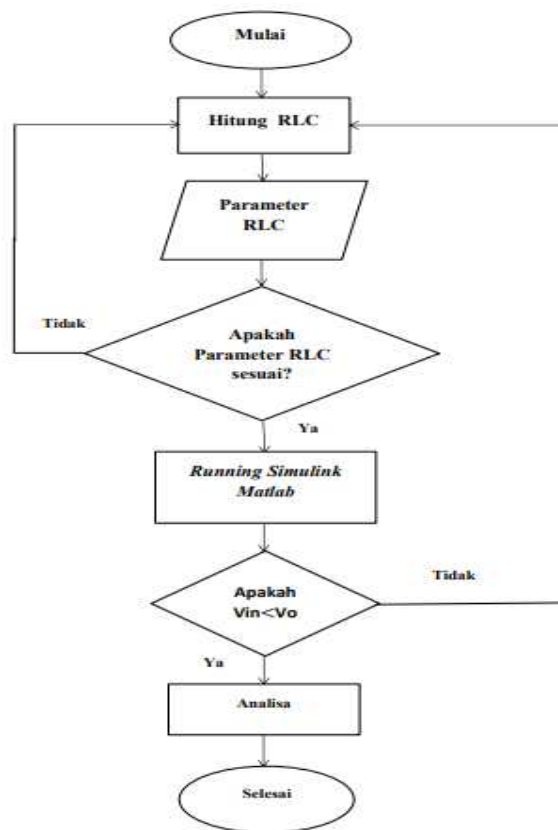
.....(10)
 Untuk mencari nilai kapasitor:

$$\begin{aligned}
 \Delta V_o &= \frac{V_o \cdot DT}{R \cdot C} \\
 \Delta V_o &= \frac{V_o \cdot D}{R \cdot C \cdot f} \\
 \frac{\Delta V_o}{V_o} &= \frac{D}{R \cdot C \cdot f} \\
 \Delta V_o \cdot R \cdot C \cdot f &= V_o \cdot D \\
 C &= \frac{V_o \cdot D}{\Delta V_o \cdot R \cdot f}
 \end{aligned}
 \tag{11}$$

.....(11)
 Dimana:

V_L = Tegangan induktor (V)
 V_s = Tegangan sumber (V)
 V_o = Tegangan keluaran (V)
 C = Kapasitor (F)
 L = Induktor (H)
 R = Resistor (Ohm)
 i_L = Arus induktor (A)
 Δ_{iL} = *Ripple* arus induktor
 Δ_V = *Ripple* tegangan
 f = Frekuensi (kHz)
 I_o = Arus keluaran (A)
 P_{out} = Daya keluaran
 P_{in} = Daya masukan

Simulasi *Boost Converter* dimulai dari mengumpulkan parameter, menentukan nilai parameter dari sumber tegangan dan menghitung nilai R, L, C kemudian memasukkan nilai parameter R, L, C. Resistor dianggap sebagai beban, pada komponen yang digunakan ialah series RLC *branch* yang ada di *SIMULINK*, selanjutnya menjalankan simulasi dan akan diketahui nilai tegangan keluaran *Boost Converter* apakah nilai tegangan keluaran yang dihasilkan lebih besar dari tegangan masukan. Langkah selanjutnya menganalisa data dan mengambil kesimpulan yang didapatkan dari pengujian *boost converter* tersebut, untuk lebih jelas dapat dilihat pada gambar di bawah ini:



Gambar 3 Diagram alir perancangan boost converter

Tahapan Penelitian

Metode penelitian yang digunakan adalah simulasi *boost converter* dengan metode persamaan garis untuk menganalisis hubungan matematis antara variabel *input*, dan *output* dari *boost converter*, dalam menentukan persamaan tegangan output terhadap tegangan input, diperoleh melalui aplikasi hukum kekekalan daya pada konverter. Metode persamaan garis digunakan dalam perancangan *boost converter* karena memberikan kerangka kerja yang sistematis dan analitis untuk menganalisis dan merancang *boost converter*. Ada 2 tahap perancangan, yaitu *open loop* dan *close loop* menggunakan *software* (perangkat lunak) yang akan disimulasikan dengan *simulink MATLAB*, ketika mode *open loop* nilai tegangan input yang diberikan bernilai konstan yaitu 9 volt, nilai frekuensi tetap 40 kHz, nilai duty cycle yang bervariasi dari 5% sampai dengan 65.2% dan nilai beban yang tetap yaitu 16 Ohm, pada mode ini akan dilihat respon tegangan keluaran yang dihasilkan terhadap perubahan duty cycle yang diberikan. Pada saat mode *close loop* nilai tegangan diatur bervariasi 9 sampai 19 volt, tegangan keluaran pada *close loop* dikendalikan oleh kontrol PI untuk menstabilkannya agar mencapai set point yaitu 24 Volt.

Perancangan Boost Converter

Pada perancangan *boost converter*, dimodelkan menggunakan *simulink MATLAB*. Adapun spesifikasi komponen yang akan digunakan dalam mensimulasikan *boost converter* pada Tabel 1.

Tabel 1. Spesifikasi komponen *boost converter*

Parameter	Nilai
Tegangan <i>input</i>	9-19 Vdc
Tegangan <i>output</i>	24 Vdc
Frekuensi	40 Khz
Duty Cycle	5% - 62.5%
Resistor	16 ohm
Induktor	35 μ H
Kapasitor	16 μ F
Arus	1.5 A

Ripple Tegangan	0.25%
-----------------	-------

Spesifikasi *boost converter* pada **Tabel 1** didapatkan dari perhitungan berikut:

1. Menentukan nilai *Duty cycle* yang digunakan untuk menghasilkan tegangan keluaran 24V

$$D = 1 - \frac{V_s}{V_{out}} = 1 - \frac{9}{24} = 0.625 = 62.5\%$$

2. Menentukan nilai resistor

$$R = \frac{V_o}{I_{out}} = \frac{24}{1.5} = 16 \Omega$$

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

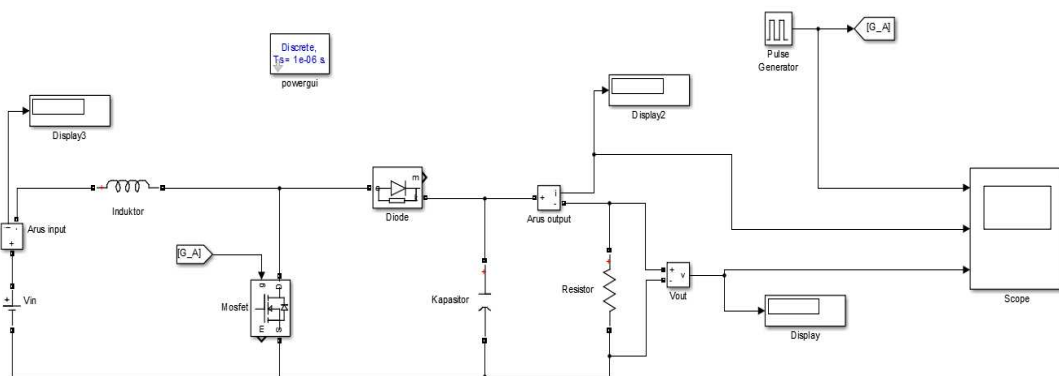
$$L_{min} = \frac{(1-D)^2 \times R}{2 \times f} = \frac{(1-0.625)^2 \times 16}{2 \times 40000} = 32 \mu H$$

4. Menentukan nilai kapasitor

$$C = \frac{D}{R \times f \times \frac{\Delta V_o}{V_o}} = \frac{0.625}{16 \times 40000 \times 0.06} = 16 \mu F$$

Perancangan *Boost Converter Open Loop*

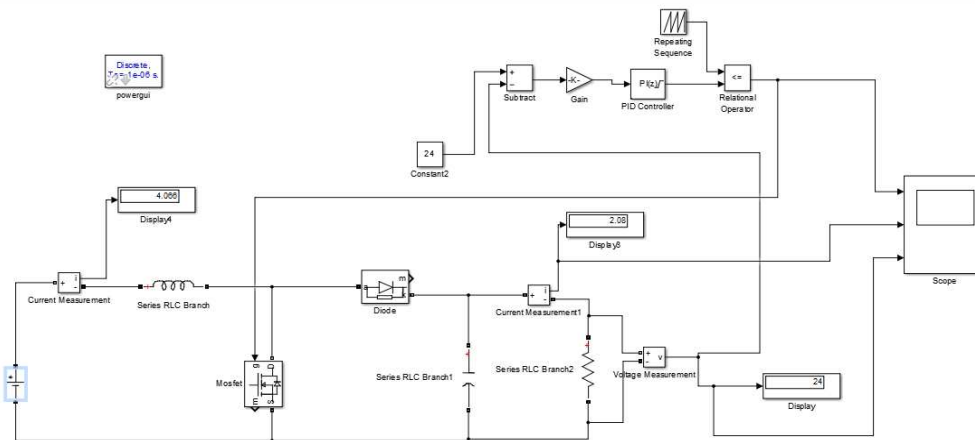
Pada perancangan *boost converter mode open loop*, tegangan input bernilai konstan yaitu 9 V, frekuensi *switching* 40 KHz, dan nilai *duty cycle* yang bervariasi dari 5% sampai 65.2%. Pemodelan rangkaian *boost converter open loop* dapat dilihat pada **Gambar 4**.



Gambar 4 Rangkaian Boost Converter Open Loop

Perancangan *Boost Converter Close Loop*

Pada perancangan ini, nilai tegangan input yang digunakan bervariasi dari 9V – 19V. Pada perancangan *close loop*, nilai tegangan keluaran dikendalikan oleh PI agar membantu mempercepat nilai output yang digunakan. Pemodelan rangkaian *boost converter close loop* dapat dilihat pada **Gambar 5**



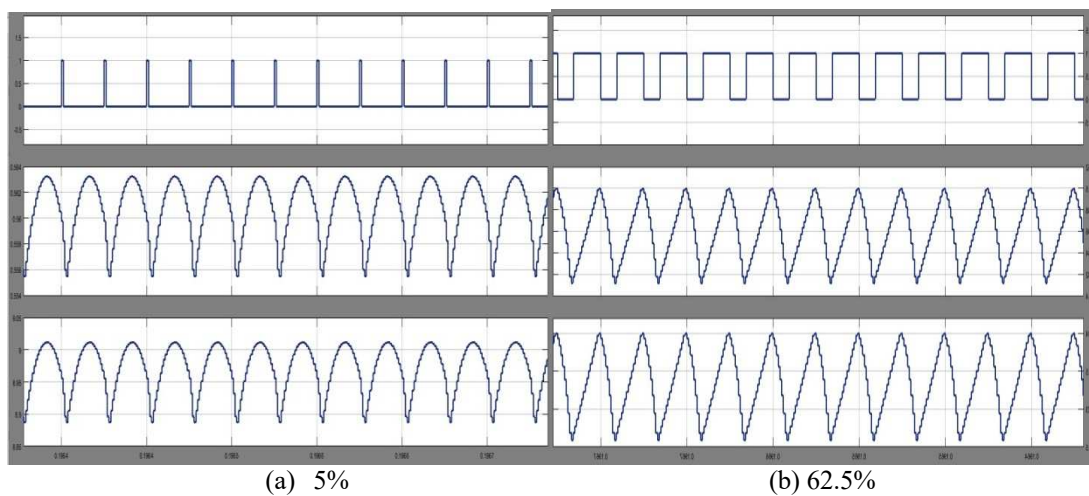
Gambar 5 Rangkaian Boost Converter Close Loop

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada pengujian simulasi *boost converter* dilakukan untuk mengetahui keberhasilan sistem kerja *boost converter* mode *open loop* maupun mode *close loop*. Pengujian pertama dilakukan dengan nilai *duty cycle* yang bervariasi untuk mengukur nilai tegangan keluaran pada *boost converter*, pengujian ini menghasilkan nilai tegangan keluaran pada saat pengukuran dan membandingkannya dengan hasil perhitungan. Pengujian kedua dilakukan dengan nilai tegangan masukan yang bervariasi, kemudian menambahkan kontrol PI untuk mengendalikan tegangan keluaran *boost converter* sehingga sesuai dengan *set point* yang ditentukan.

Boost Converter Open Loop

Pada percobaan simulasi ini, dilakukan dengan mengatur tegangan masukan sebesar 9 Volt, beban diberikan 16 Ω , dan nilai *duty cycle* yang bervariasi dari 5% sampai 65.2%. Pada simulasi ini, penulis menggunakan 2 sampel untuk melihat sinyal dari gelombang PWM, nilai arus keluaran, dan tegangan keluaran yaitu saat *duty cycle* bernilai 5% dan 65.2%. Hasil gelombang simulasi percobaan *boost converter open loop* dapat dilihat pada gambar berikut:



Gambar 6. Duty Cycle 5% dan 62.5% open loop

Berdasarkan Gambar 6 dapat dianalisa bahwa nilai tegangan keluaran yang terukur lebih besar dari tegangan masukan. Ketika nilai *duty cycle* 5%, gelombang yang dihasilkan memiliki jarak yang paling rapat sedangkan ketika nilai *duty cycle* maksimal 62.5% hasil gelombangnya lebih melebar. Tegangan keluaran yang dihasilkan pada saat *duty cycle* 62.5% lebih besar dibandingkan dengan tegangan keluaran pada saat *duty cycle* diatur 5%, hal ini menunjukkan bahwa lebar pulsa PWM berbanding lurus dengan tegangan keluaran, sehingga semakin besar lebar pulsa maka tegangan keluaran yang dihasilkan juga semakin besar.

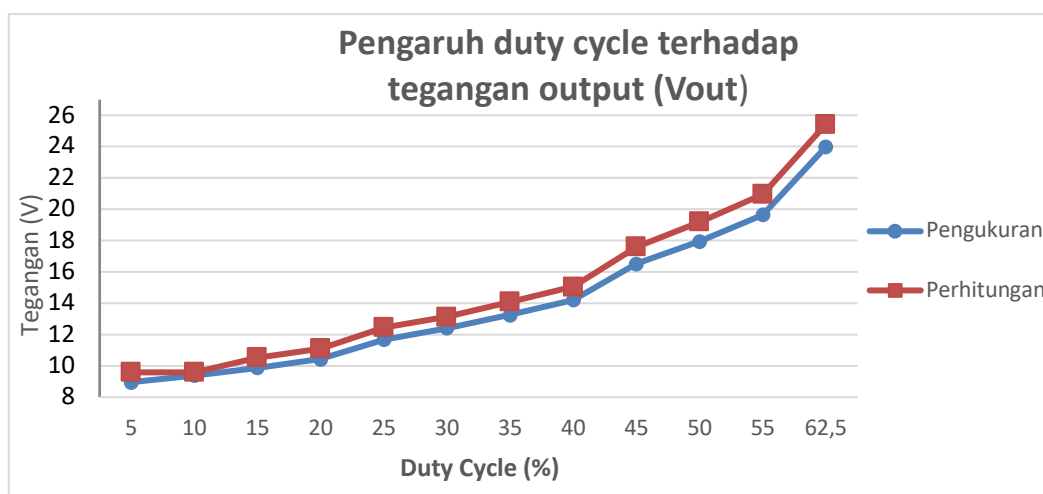
Pada pengujian ini nilai *duty cycle* bervariasi dengan tegangan masukan 9V, digunakan beban sebesar 16 Ω untuk mendapatkan hasil pengukuran berupa nilai tegangan dan arus keluaran, serta untuk dapat menghitung nilai daya, efisiensi *boost converter* maupun selisih (error) hasil pengukuran dengan perhitungan tegangan keluaran. Hasil pengujian dapat dilihat pada Tabel 2 berikut:

Tabel 2. Hasil Pengujian *Boost Converter Open Loop*

Vin (V)	Iin (A)	Pin (W)	Vout (V)		Error (selisih)	Io (A)	Po (W)	Efisiensi (%)
			Pengukuran	Perhitungan				
9	1.9	17.10	8.96	9.58	0.625	0.599	5.37	31.38
9	2.02	18.18	9.40	9.60	0.204	0.626	5.88	32.35
9	2.14	19.26	9.88	10.53	0.649	0.658	6.50	33.75
9	2.35	21.15	10.42	11.10	0.684	0.694	7.23	34.19
9	2.41	21.69	11.68	12.45	0.768	0.778	9.09	41.90
9	2.63	23.67	12.42	13.12	0.7	0.82	10.18	43.03
9	2.84	25.56	13.26	14.08	0.82	0.88	11.67	45.65

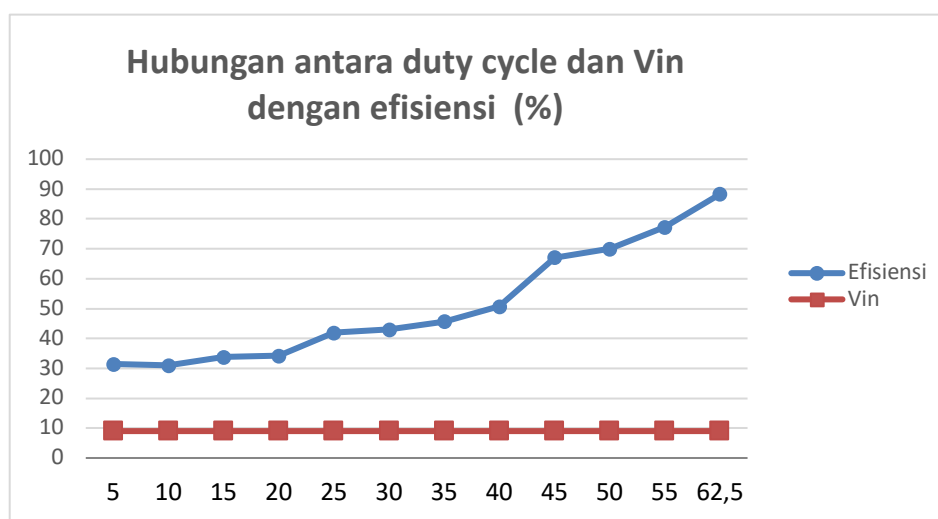
9	2.93	26.37	14.21	15.04	0.83	0.94	13.36	50.65
9	3.01	27.09	16.53	17.60	1.07	1.1	18.18	67.12
9	3.42	30.78	17.96	19.20	1.24	1.2	21.55	70.02
9	3.7	33.30	19.64	20.96	1.32	1.31	25.73	77.26
9	4.8	43.20	23.99	25.44	1.45	1.59	38.14	88.30

Dari **Tabel 2** dapat dilihat bahwa hasil pengujian *boost converter open loop* menghasilkan tegangan keluaran yang lebih besar dibandingkan dengan tegangan masukan. Hasil pengukuran tegangan keluaran yang didapatkan mendekati nilai perhitungan sehingga selisihnya kecil, begitu pula dengan daya *output* yang dihasilkan tidak terlalu jauh dari daya *input* sehingga efisiensi *boost converter* mencapai lebih dari 80%. Berdasarkan Tabel 2, dapat dianalisa juga bahwa semakin besar nilai *duty cycle* yang diberikan dengan nilai tegangan masukan konstan 9 volt, dihasilkan nilai tegangan keluaran yang semakin meningkat.



Gambar 7 Grafik perbandingan Vout ukur dan Vout hitung

Berdasarkan Gambar 7 dapat diketahui bahwa, saat nilai *duty cycle* diberikan semakin meningkat dari 5% sampai 62.5% maka nilai tegangan keluaran yang dihasilkan semakin meningkat, tegangan maksimum yang dihasilkan saat pengukuran adalah 23.99 Volt pada saat *duty cycle* diatur 62.5% dengan polaritas tegangan masukan yang sama. Hasil nilai tegangan keluaran pada saat pengukuran mendekati nilai yang perhitungan, sehingga selisih antara hasil pengukuran dengan perhitungan cukup kecil yaitu kurang dari 2 Volt.



Gambar 8 Grafik nilai efisiensi

Berdasarkan **Gambar 8** dapat dilihat bahwa, saat tegangan masukan diberikan konstan 9 Volt dengan nilai *duty cycle* yang semakin meningkat dari 5% sampai 62.5% didapatkan nilai efisiensi *boost converter* semakin

meningkat. Pada pengujian ini dapat dilihat nilai efisiensi terbesar pada saat nilai duty cycle 62.5% yaitu 88.3%. Hasil tegangan keluaran pada saat pengukuran/pengujian didapatkan berbeda dengan nilai perhitungan namun selisih atau error cukup kecil yaitu kurang dari 2 Volt.

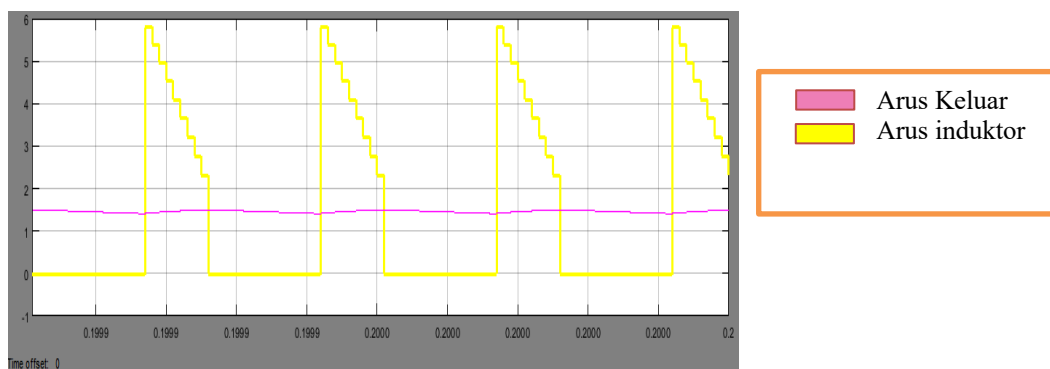
Boost Converter Close Loop

Pada percobaan simulasi *close loop*, dilakukan dengan mengatur tegangan masukan bervariasi sebesar 9 Volt sampai dengan 19 volt, beban diberikan 16 Ω , dan nilai duty cycle yang bervariasi dari 5% sampai 65.2%. Pada simulasi ini, menggunakan kontroler proporsional integral untuk menstabilkan tegangan keluaran pada *boost converter*. Dapat dilihat pada tabel dibawah ini:

Tabel 3 Hasil Pengujian Cuk Konverter Close Loop

Set Point	Vin	PI		Vout
(V)	(V)	Kp	Ki	(V)
24	9	0.5	28	24,05
24	10	0.5	28	23,87
24	11	0.5	28	23,65
24	12	0.5	28	24,2
24	13	0.5	28	23,25
24	14	0.5	28	23,97
24	15	0.5	28	24,26
24	16	0.5	28	24,23
24	17	0.5	28	23,98
24	18	0.5	28	24,19
24	19	0.5	28	24,15

Berdasarkan **Tabel 3** dapat diketahui bahwa ketika nilai tegangan masukan diatur bervariasi dari 9 Volt sampai 19 Volt, set point konstan 24 Volt serta konfigurasi dari nilai parameter PI tetap yaitu dengan nilai Kp 0.5 dan Ki 28. Pada pengujian ini didapatkan nilai tegangan keluaran paling rendah 23.25 Volt dan paling tinggi 24.26 Volt, dari Tabel 3 juga dapat dilihat bahwa selisih antara set point dengan tegangan keluaran cukup kecil yaitu kurang dari 1 Volt. Hasil respon tegangan keluaran yang paling optimal adalah ketika Vin diatur 17 Volt dimana selisih antara set point dengan Vout adalah 0.02 Volt .



Gambar 9 Ripple arus induktor

Berdasarkan **Gambar 9** dapat dilihat bahwa arus keluaran memiliki ripple yang lebih rendah, lebih stabil dibandingkan dengan arus induktor. Kontrol PI merespon perubahan kondisi sistem, arus keluaran pada mode *close loop* ini nilainya bervariasi dalam kisaran yang lebih kecil dibandingkan fluktuasi arus pada induktor, hal ini menunjukkan bahwa kontroler PI efektif dalam menjaga stabilitas tegangan keluaran.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil pengujian boost converter menggunakan Simulink MATLAB dapat disimpulkan bahwa pada mode open loop nilai duty cycle yang bervariasi berpengaruh terhadap nilai tegangan keluaran yang dihasilkan, dimana didapatkan nilai tegangan keluaran paling rendah 8.96 Volt ketika nilai duty cycle diatur 5% dan tegangan keluaran paling tinggi sebesar 23.99 Volt ketika nilai duty cycle 62.5%, kemudian didapatkan nilai selisih antara tegangan keluaran pada saat pengukuran dengan perhitungan cukup kecil yaitu kurang dari 2 Volt. Nilai efisiensi terbesar didapatkan pada saat nilai duty cycle diatur 62,5% yaitu mencapai 88.3%. Dari hasil pengujian juga dapat diketahui bahwa saat mode close loop menggunakan pengendali PI, nilai tegangan masukan yang bervariasi dengan nilai K_p 0,5 dan K_i 28 didapat rata-rata nilai tegangan keluaran mendekati nilai set point yang sudah ditentukan sehingga nilai selisih hasil pengujian dengan set point cukup kecil yaitu kurang dari 1 Volt.

REFERENSI

- Ananto, R. A., & Santoso, A. H. (2021). Analisis Performance Jangka Pendek Pembangkit Listrik Tenaga Surya dengan Sistem Stand-alone System. *Elposys: Jurnal Sistem Kelistrikan*, 8(1), 22–27.
- Assyidiq, M. A., Winardi, B., & Andromeda, T. (2017). Perancangan Boost Converter Menggunakan Voltage Feedback Pada Panel Surya. *Transient*, 6(3), 404. <https://doi.org/10.14710/transient.6.3.404-410>
- Buntulayuk, H. (2017). *Jurnal JPE, Vol. 21, No. 2, Bulan November, Tahun 2017*. 21(2).
- Fathurachman, A., Najmurokhman, A., & Kusnandar. (2018). Perancangan Boost Converter Untuk Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya. *Batara Pilar Teknik*, 5.
- Harselina, D., & Hendri, H. (2019). Rancang Bangun Boost Converter. *JTEV (Jurnal Teknik Elektro Dan Vokasional)*, 5(1.1), 11. <https://doi.org/10.24036/jtev.v5i1.1.106134>
- Hushaini, M., Hasan, H., & Gapy, M. (2019). Stabilisasi Tegangan DC Menggunakan Boost Konverter. *Jurnal Teknik Elektro*, 1(1), 128–136.
- Irkham, I., Setiawan, I., & Nugroho, A. (2019). Perancangan Boost Converter Sebagai Suplai Inverter Menggunakan Dspic30F4011 Dengan Metode Kontrol Proportional Integral. *Transient*, 7(3), 737. <https://doi.org/10.14710/transient.7.3.737-744>
- Kazimierczuk, M. K. (2008). *Power Converters Pulse-width Modulated DC – DC Power Converters*.
- M. M. Nishat, M. A. M. Oninda, F. Faisal, and M. A. H. (2018). No Title. *Modeling, Simulation and Performance Analysis of SEPIC Converter Using Hysteresis Current Control and PI Control Method*, *IEEE*, 7–12.
- Mazta, M. A., Samosir, A. S., & Haris, A. (2016). Rancang bangun interleaved boost converter berbasis Arduino. *Electrician: Jurnal Rekayasa Dan Teknologi Elektro*, 10(1), 27–35.
- Mudawari, A. (2021). Konverter Dc-Dc Penurun Tegangan Dua Fasa. *Jurnal Teknik Energi*, 11(1), 19–24. <https://doi.org/10.35313/energi.v11i1.3500>
- Nugraha, A. T., & Eviningsih, R. P. (2022). *Penerapan Sistem Elektronika Daya: AC Regulator, DC Chopper, dan Inverter*. Deepublish.
- Rahmawati, R. (2018). Roro Rahmawati-141910201038. *Implementasi Boost Converter Dengan Kontrol PID Pada Tegangan Output Solar Charger*.
- Vebbryadi, V. (2022). Analisis Tegangan Keluaran Dc-Dc Bosst Converter Berbasis Mikrokontroler. *Jurnal Penelitian Rumpun Ilmu Teknik*, 1(2), 24–31.
- Vebbryadi Vebbryadi. (2022). Analisis Tegangan Keluaran Dc-Dc Bosst Converter Berbasis Mikrokontroler. *Jurnal Penelitian Rumpun Ilmu Teknik*, 1(2), 24–31. <https://doi.org/10.55606/juprit.v1i2.469>