

Desain Simulasi dan Analisa *Closed Loop Boost Converter* Terintegrasi *Solar PV* Berbasis *PID*

Rahma Nur Amalia^{*1)}, Wijaya Kusuma²⁾, Faiz Alfian³⁾

(Artikel diterima: Januari 2023, direvisi: Februari 2023)

Abstrak: *The tendency for the price of using solar PV (photovoltaic) to become cheaper means that the portion of the use of this solar energy source is encouraged to be larger along with the addition of the portion of renewable energy (EBT) generators based on PLN's 2021-2030 Electricity Supply Business Plan (RUPTL). The use of conventional solar PV which has several challenges in terms of the intensity of solar radiation and ambient temperature causes the output voltage to tend to fluctuate. As a step to mitigate this problem, a power electronics circuit application is needed in the form of a boost converter or what can be called a step-up DC-DC converter. In this study, the boost converter design modeling is made a closed loop. There is feedback by adding a PID controller to adjust the duty cycle as a function of switching on or off MOSFET so that the output voltage is as desired (setpoint) and adjusts to needs of load. Open-loop design modeling is also included as a comparison. The design stage begins with determining the circuit design, calculating component specifications, and simulating using MATLAB R2013a software and hardware implementation. From the test results, it was found that the boost converter can increase the solar PV voltage varies (17.34-19.13 Volts). In the closed loop boost converter circuit with a constant load of 129.96 Ω with varying duty-cycle value set by PID controller with value of $K_p=0.005$ $K_i=9.75$ $K_d=0.00000029$, the average output voltage is 36.0067 Volts and stable at the desired setpoint of 36 Volts.*

Keywords : *Solar PV, Boost Converter, Duty Cycle, PID, LOOP*

1. Pendahuluan

Penggunaan *solar PV* pada aplikasinya secara konvensional memiliki beberapa tantangan yakni dari segi intensitas radiasi cahaya matahari dan temperatur lingkungan yang diterima oleh *solar PV*. Sebagai langkah mitigasi permasalahan tersebut, maka dibutuhkan aplikasi rangkaian elektronika daya berupa *DC-DC converter* yang sesuai. Dari beberapa jenis konverter, *boost converter* atau yang dapat disebut dengan *step-up DC-DC converter* ini memiliki beberapa keunggulan yakni cocok diaplikasikan pada pembangkit energi terbarukan, ukurannya yang kecil serta biaya yang tidak terlalu mahal (Mumtaz F *et al.*, 2021).

Secara umum terdapat 2 pemodelan desain *DC-DC boost converter* yakni *open loop* (*loop* terbuka) dan *closed loop* (*loop* tertutup). Pada pemodelan *closed loop* terdapat umpan balik (*feedback*) dari *output* ke *input* dengan menambahkan *controller* (pengontrol/pengendali) sehingga parameter *output* yang dihasilkan diatur sedemikian rupa sehingga dari segi keandalan (*reability*) dan stabilitas (*stability*) untuk model sistem *loop* tertutup lebih baik.

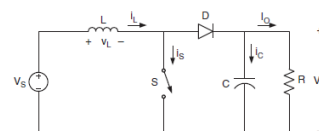
Terdapat beberapa jenis metode pengontrol atau pengendali (*controller*) yang umum digunakan saat ini seperti metode kontrol konvensional atau menggunakan *controller PI* (*Proportional Integral*), *PD* (*Proportional Derrivative*), *PID* (*Proportional Integral Derrivative*). Metode *PID* ini merupakan metode kontrol linier tradisional yang umumnya digunakan dan dapat meningkatkan performa dari sistem *dc-dc converter*. Penggunaan *PID controller* pada *DC-DC boost converter* berperan dalam mengontrol tegangan keluaran sesuai yang diinginkan persyaratan serta mampu mengendalikan nilai *overshoot* yang terjadi. Penggunaan *controller PID* yang tepat dapat menghasilkan reaksi sistem yang lebih cepat, *overshoot* yang lebih rendah, dan penolakan yang lebih baik terhadap gangguan serta nilai *error steadystate* mendekati nol.

2. Tinjauan Pustaka

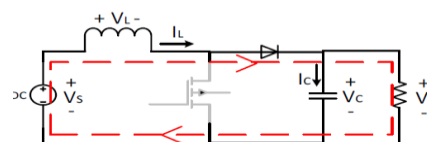
2.1 DC-DC Boost Converter

Boost converter atau yang dapat disebut dengan *step-up converter* merupakan suatu rangkaian penaik tegangan input DC agar diperoleh nilai *output* yang dikehendaki (R Neethu *et al.*, 2016).

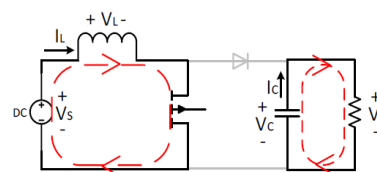
Untuk bagian-bagian komponen *boost converter* terdiri dari induktor (L), *controlled switch* (S) berupa MOSFET, dioda (D), kapasitor (C). Sedangkan prinsip kerja rangkaian *boost converter* terbagi menjadi 2 kondisi (*state*) yakni saat *switch* (S) *ON-State* dan *OFF-State*.



Gambar 2.1 Diagram Rangkaian *Boost Converter*



Gambar 2.2 *ON-State* MOSFET



Gambar 2.3 *OFF-State* MOSFET

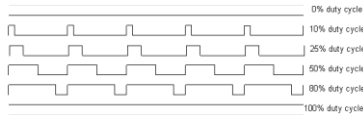
* Korespondensi: email rahma@polinema.ac.id

a) Prodi Sistem Kelistrikan, Jurusan Teknik Elektro, Polinema.
Jalan Soekarno-Hatta No. 9 Malang 65141

2.2 Pulse Width Modulation (PWM) dan Duty Cycle

Menurut (Haryanto T, 2016) PWM merupakan suatu teknik mengubah nilai keluaran digital sehingga menghasilkan keluaran analog. Perbandingan antara panjang pulsa / pulse width (waktu ON) terhadap waktu total atau periode (TON + TOFF) dapat disebut dengan duty cycle. Nilai duty cycle ini dinyatakan dalam bentuk persen (%). Sehingga nilai duty cycle (D) dapat dituliskan sebagai berikut:

$$D = \frac{T_{on}}{(T_{on} + T_{off})} \tag{2-1}$$



Gambar 2.4 Gambar Sinyal Pulsa Digital Dengan Variasi Duty Cycle

2.3 PID Controller

Sistem Kontrol PID (Proportional – Integral – Derivative controller) merupakan kontroler untuk menentukan presisi suatu sistem instrumentasi dengan karakteristik adanya umpan balik pada sistem tersebut (feedback). Sistem kontrol PID terdiri dari tiga buah cara pengaturan yaitu kontrol P (Proportional), D (Derivative) dan I (Integral), dengan masing – masing memiliki kelebihan dan kekurangan. Dalam implementasinya masing – masing cara dapat bekerja sendiri maupun gabungan diantaranya. Dalam perancangan sistem kontrol PID yang perlu dilakukan adalah mengatur parameter P, I atau D agar tanggapan sinyal keluaran system terhadap masukan tertentu sebagaimana yang diinginkan.

- a) Kontrol Proporsional (P)
Berfungsi sebagai penguat sinyal error penggerak sehingga dapat mempercepat output sistem untuk mencapai setpoint nya. Hubungan antara output u(t) dan sinyal error e(t) kontroler adalah :

$$U(t) = K_p \cdot e(t)$$

- b) Kontrol Proporsional (I)
Berfungsi untuk menghilangkan kesalahan atau error dari keadaan offset yang biasanya dihasilkan kontrol proporsional. Hubungan antara u(t) dan e(t) adalah:

$$U(t) = K_i \int e(t) dt$$

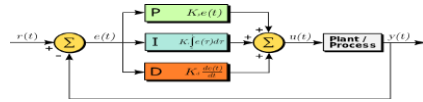
- c) Kontrol Proporsional (D)
Kontrol derivatif disebut sebagai pengendali laju karena sinyal output sebanding dengan laju perubahan sinyal error e(t). Hubungan antara u(t) dan e(t) adalah:

$$U(t) = K_d \cdot \frac{de(t)}{dt}$$

2.4 Parameter PID

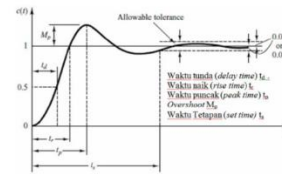
Sebuah proporsional kontroler mempunyai pengaruh untuk mengurangi rise time tetapi tidak mengurangi over shoot. Sedangkan sebuah integral kontroler akan mengurangi steady-state error, tetapi akan membuat respon transient menjadi tidak bagus. Sebuah derivatif controller akan mengurangi overshoot. Pengaruh masing-masing kontroler dapat dilihat dalam ringkasan tabel berikut ini :

Karakteristik PID Kontroler	Rise Time	Over Shoot	Settling Time	S-S Error
Kp	Mengurangi	Menambah	Sedikit Perubahan	Mengurangi
Ki	Mengurangi	Menambah	Menambah	Menghilangkan
Kd	Sedikit Perubahan	Mengurangi	Mengurangi	Sedikit Perubahan



Gambar 2.4 Blok Diagram PID

2.5 Respon Sistem

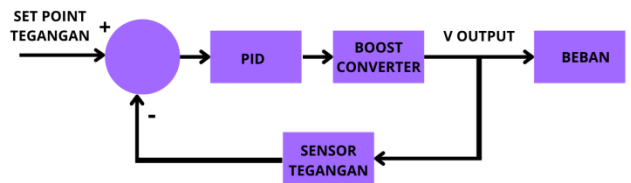


Gambar 2.6 Kurva Respon Sistem

Menurut (Ogata, 2010) respon sistem merupakan suatu sistem kontrol yang menunjukkan osilasi teredam (damped) sebelum mencapai kondisi steady state. Terdapat beberapa spesifikasi respon system yakni time delay (td), Rise time (tr), maximum overshoot (Mp), settling time (ts), peak time (tp) dan error steadystate (ess).

3. Metode Penelitian

3.1 Perencanaan Desain Rangkaian (Blok Diagram Sistem)



Gambar 3.1 Blok Diagram Rangkaian

Dalam gambar blok diagram rangkaian menunjukkan bahwa pada perancangan boost converter ini digunakan sumber tegangan berupa solar PV yang tegangan dapat bervariasi akibat pengaruh dari intensitas cahaya matahari. Nilai tegangan input dari solar PV yang bervariasi ini tentunya akan menyebabkan nilai tegangan keluaran boost converter juga bervariasi atau fluktuatif. Dikarenakan boost converter dirancang nantinya untuk menyuplai beban motor sebesar 36 Volt, maka tegangan keluaran ini perlu dijaga agar tetap pada referensi/setpoint sebesar 36 Volt. Oleh karena itu untuk mendapatkan nilai tegangan keluaran boost converter sesuai dengan tegangan referensi 36 Volt, maka digunakan algoritma PID untuk mengendalikan duty cycle. Pengendalian duty cycle oleh diatur berdasarkan nilai konstanta Kp, Ki, Kd.

3.2 Penentuan Parameter Rangkaian

Berikut merupakan langkah menentukan parameter yang dibutuhkan pada rangkaian DC-DC boost converter :

- d) Tegangan Masukan (Vinput)

Nilai Vinput yang pada penelitian ini bervariasi dikarenakan berasal dari solar PV. Sehingga ditetapkan range yakni dari 3,6 Volt hingga 18,45 Volt yakni ketika tegangan saat daya maksimum solar PV (Vmp) sebesar 18,45 Volt.

e) Tegangan Refrensi (V_{ref})

Tegangan refrensi atau V_{ref} yakni besar tegangan keluaran yang ditetapkan atau yang diinginkan (*setpoint*) menyesuaikan dengan kebutuhan beban. Pada penelitian ini tegangan refrensi yang dipilih sebesar 36 Volt.

f) Duty Cycle (D)

Penentuan nilai *Duty Cycle* pada rangkaian *DC-DC boost converter* akan mempengaruhi besarnya nilai tegangan keluaran yang dihasilkan (Pratama A, 2014). Nilai D dapat ditentukan sebagai berikut:

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

Nilai D terbagi menjadi 2 yakni ketika nilai D minimum dan D maksimum. Nilai D (D_{min}) bernilai minimum ketika nilai $V_{input}=V_{mp}$ sebesar 18,45 Volt. Sedangkan nilai D bernilai maksimum (D_{maks}) ketika nilai V_{input} minimum yakni 3,6 Volt. sehingga dapat diperoleh hasil perhitungan nilai D untuk $V_{input}=V_{mp}$ sebesar 18,45 Volt (D_{min}) sebesar 50%. Sedangkan nilai D untuk V_{input} minimum yakni 3,6 Volt (D_{max}) sebesar 90%.

g) Frekuensi Switching

Pada penelitian ini frekuensi *switching* yang digunakan sebesar 62 kHz (Fibrianti R,2020). Hal ini dikarenakan arduino umumnya dapat membuat frekuensi sebesar 31 kHz dan 62 kHz untuk *switching*.

h) Ripple Tegangan Kapasitor

Nilai presentase *ripple* dapat ditentukan dengan persamaan sebagai berikut (Pratama A, 2014):

$$\Delta V_o = \text{Ripple tegangan keluaran (\%)} \times V_o \quad (3 - 2)$$

Diasumsikan presentasi *ripple* tegangan keluaran sebesar 1%, sehingga diperoleh nilai *ripple* tegangan kapasitor sebesar 0.36.

i) Arus Output Maksimum DC-DC Boost Converter

Penentuan arus *output* (*lout*) maksimum *dc-dc boost converter* berdasarkan daya maksimum beban yang akan direncanakan serta tegangan *output* refrensi yang ditetapkan. Daya maksimum beban perancangan sebesar 10 Watt. Maka sesuai persamaan dapat dihitung

$$I_{out} = \frac{P_{maksimum\ beban\ perancangan}}{V_o} \quad (3 - 3)$$

Sehingga diperoleh nilai arus *output* (*lout*) maksimum sebesar 0.277A

j) Ripple Arus Induktor

Nilai presentase *ripple* dapat ditentukan dengan persamaan sebagai berikut (Pratama A, 2014):

$$\Delta I_L = \text{Ripple arus induktor (\%)} \times I_L \quad (3 - 4)$$

Sedangkan nilai I_L dapat dihitung dengan persamaan berikut:

$$I_L = \frac{I_{out}}{1 - D_{maks}} \quad (3 - 5)$$

Dengan asumsi *ripple* arus induktor sebesar 20%, maka nilai presentase *ripple* arus induktor diperoleh sebesar 0.554 A.

Tabel 3.1 Parameter Rangkaian DC-DC Boost Converter

Parameter	Nilai
-----------	-------

Tegangan Masukan (V_{input}) Minimum – Maksimum	3,6 – 18,45 Volt
Tegangan <i>output boost converter</i> (V_o)	36 Volt
<i>Duty Cycle</i> (D) Maksimum	0,9 (90%)
Frekuensi <i>Switching</i> (f_s)	62,5 kHz
<i>Ripple</i> Tegangan Kapasitor (ΔV_o)	0,36
Arus <i>output DC-DC Boost Converter</i> (I_{out})	0,277 A
<i>Ripple</i> Arus Induktor (ΔI_L)	0,554 A

3.3 Penentuan Spesifikasi Komponen

Berikut merupakan langkah menentukan spesifikasi komponen yang digunakan pada rangkaian *DC-DC boost converter* :

a) Solar PV

Solar PV yang digunakan adalah *solar PV* jenis *Monocrystalline* produk INScom model KMM-270 dengan spesifikasi sebagai berikut:



Gambar 3.2 Nameplate Solar PV

b) Induktor (L1)

Untuk menentukan nilai induktansi pada komponen induktor yang digunakan dapat ditentukan dengan persamaan berikut (Mahmood J et al, 2016):

$$L_{crit} \geq 1 - \frac{V_{in} \times D_{maks}}{f_s \times \Delta I_L} \quad (3 - 6)$$

Berdasarkan hasil perhitungan dengan persamaan di atas, maka digunakan induktor ferrite dengan nilai 13e-4H.

c) Kapasitor (C1)

Untuk menentukan nilai kapasitansi pada komponen induktor yang digunakan dapat ditentukan dengan persamaan berikut (Mahmood J et al, 2016):

$$C \geq \frac{I_{out} \times D_{maks}}{f_s \times \Delta V_{out}} \quad (3 - 7)$$

Berdasarkan hasil perhitungan diperoleh nilai kapasitansi sebesar 61.5e-7 F. Sehingga digunakan kapasitor ELCO merk KYA dengan nilai 470 μF sesuai yang ada di pasaran.

d) Dioda (D1)

Diketahui bahwa $V_{outmax\ boost\ converter}$ yakni sebesar 36 Volt, sedangkan nilai $I_{peak\ inductor\ current}$ (I_{Lpeak}) dapat dicari dengan persamaan berikut:

$$I_{Lpeak} = I_L + \frac{\Delta I_L}{2} \quad (3 - 8)$$

Berdasarkan perhitungan persamaan diperoleh nilai 3,047 Ampere. Sehingga dioda yang dipilih yakni memiliki nilai $V_{breakdown}$ (tegangan dadal atau tegangan balik yang dapat ditahan oleh dioda) ≥ 36 V dan $I_{diode} \geq 3.047A$ Maka digunakan dioda *schottky* IN5401 dengan nilai tegangan balik yang dapat ditahan dioda (V_{RRM}) 100 Volt dan dapat dilewati arus pada arah

maju sebagai penyearah ($I_{F(AV)}$) hingga 3 Ampere

e) MOSFET (Q1)

Pemilihan komponen MOSFET nilai tegangan operasinya harus melebihi nilai tegangan keluaran (Sasue R *et al.*, 2018) yang diinginkan (*setpoint*) yakni 36 Volt. Sedangkan kemampuan operasi maksimum arus *drain* (I_D) mengacu pada nilai arus maksimum *supply* (Assyidiq *et al.*, 2017) atau arus saat daya maksimum (I_{mp}) solar PV yakni sebesar 1,08 A. Sehingga pada penelitian ini dipilih MOSFET IRF510 dengan tegangan *drain source* (V_{DS}) 100 Volt dan arus *drain* (I_D) maksimum 5,6 ampere sebagaimana yang ada di pasaran.

f) Resistor Gate MOSFET dan Resistor Pull Down (R1, R2)

Nilai R1 dan R2 dapat ditentukan sebagai berikut (Dahl Y, 2021):

$$I_{max} = \frac{V_{ref\ arduino}}{R} \quad (3 - 9)$$

Dengan nilai V_{ref} arduino yakni 5 Volt dan diasumsikan nilai arus maksimum yang diterima oleh arduino sebesar 5mA, Maka nilai resistor *gate* R1 bernilai 1000Ω.

Sedangkan nilai resistor *pull down* R2 memiliki nilai setidaknya 100 kali lebih besar dari resistor *gate* R1 namun bersifat opsional dan dapat diabaikan. Untuk nilai resistor R2 dapat dihitung sebagai berikut:

$$R2 = 100 \times R1 \quad (3 - 10)$$

Diperoleh nilai resistor *pulldown* R2 bernilai 100 kΩ.

g) Beban

Aplikasi beban yang digunakan pada penelitian ini yakni menggunakan beban Resistor (R) berdasarkan penentuan V_{out} dan I_{out} perancangan *boost converter*. Untuk nilai R saat pembebanan maksimum dapat dihitung dengan persamaan berikut:

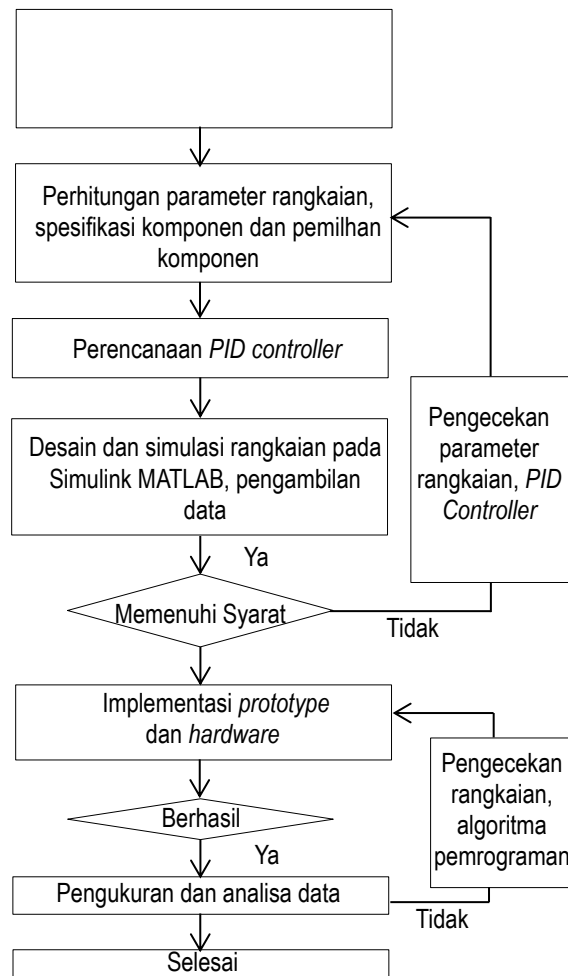
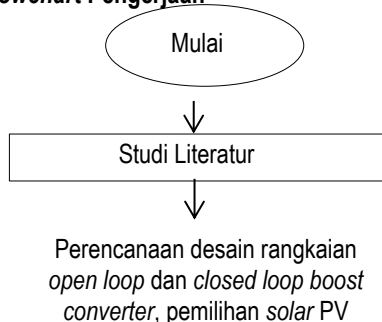
$$R = \frac{V_{out}}{I_{out}} \quad (3 - 11)$$

Berdasarkan hasil perhitungan dengan persamaan di atas diperoleh nilai beban maksimum sebesar 129.96Ω.

3.4 Metode Tuning PID Trial and Error

Metode *tuning PID trial and error* yaitu metode *tuning* parameter dengan menggunakan uji coba pemberian *gain* dan melihat *respon plant*. Metode analisa *gain* yaitu pencarian *tuning* parameter kontroler dengan menganalisa sesuai dengan *respon plant* yang diinginkan. Dengan menggunakan metode *tuning PID trial and error* ini membutuhkan waktu yang lama dalam memberikan *tuning* parameter karena melewati proses uji coba untuk mendapatkan respon yang sesuai desain yang diinginkan. Dengan menggunakan metode analisa ini, maka akan diperoleh parameter *tuning* yang sesuai dengan desain yang diinginkan. Kontrol PID (*Proporsional Integral Derivative*) yang menggabungkan 3 buah jenis kontroler dengan karakteristiknya masing- masing. Penggabungan konstanta PID yang tepat akan menghasilkan reaksi sistem yang cepat, menghilangkan *overshoot*, dan *error steady state* mendekati nol.

3.5 Flowchart Pengerjaan



Gambar 3.7 Diagram Alir Pengerjaan Skripsi

4. Hasil dan Pembahasan

4.1 Data Pengukuran Solar PV Tanpa Menggunakan Boost Converter (Kondisi Open Circuit)

Berikut merupakan hasil data yang didapatkan dan disajikan dalam bentuk tabel 4.1 berikut ini:

Tabel 4.1 Hasil Pengukuran Tegangan Output Solar PV Tanpa Boost (Open Cicuit)

No	Jam Pengukuran	Nilai tegangan output solar PV tanpa boost (Volt)	Intensitas cahaya matahari
1	13.10	19,26	Sangat terik
2	13.12	19,26	Sangat terik
3	13.14	19,23	Sangat terik
4	13.16	19,22	Sangat terik
5	13.18	19,22	Sangat terik
6	13.20	19,17	Sangat terik
7	13.22	19,13	Sangat terik
8	13.24	19,16	Sangat terik
9	13.28	19,17	Sangat terik
10	13.30	19,22	Sangat terik
11	13.32	17,34	Sedikit redup
12	13.34	17,97	Sedikit redup
13	13.36	18,41	Sedikit redup
14	13.38	18,51	Sedikit redup
15	13.40	18,64	Sedikit redup
16	13.42	18,82	Sedikit redup
17	13.44	18,86	Sedikit redup
18	13.46	18,93	Sedikit redup
19	13.48	19,01	Sedikit redup

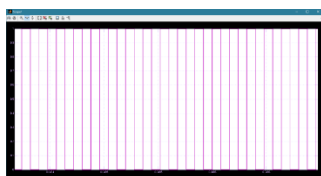
Berdasarkan hasil pengukuran yang disajikan pada tabel di

atas dapat disimpulkan bahwa tegangan keluaran (*output*) solar PV tanpa *boost converter* atau kondisi *open circuit* dapat bervariasi akibat dipengaruhi oleh intensitas cahaya matahari pada permukaan solar PV.

4.2 Data Pengukuran Solar PV Pada Rangkaian *Boost Converter* Tanpa *Fuzzy Logic Controller* (*Open Loop*) Kondisi Berbeban

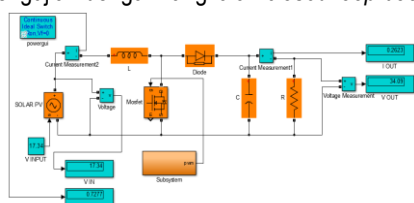
Pada penelitian ini rangkaian *open loop boost converter* bertindak sebagai pembanding untuk data hasil pengukuran dan pengujian dengan rangkaian *closed loop boost converter*.

Pengujian dilakukan dengan nilai *duty cycle* dijaga konstan sebesar 0.5. Adapun gambar sinyal pulsa digital untuk *duty cycle* adalah sebagai berikut:



Gambar 4.1 Sinyal Pulsa Digital Untuk *Duty Cycle* 0.5

Pada penelitian ini rangkaian *open loop boost converter* bertindak sebagai pembanding untuk data hasil pengukuran dan pengujian dengan rangkaian *closed loop boost converter*.



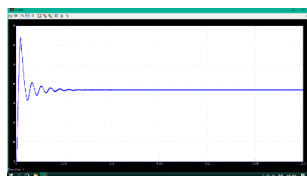
Gambar 4.2 Desain Rangkaian *Open Loop Boost Converter* Terintegrasi Solar PV Berbeban

Data terukur dari hasil pengujian rangkaian *open loop boost converter* berbeban disajikan pada tabel 4.2 berikut:

Tabel 4.2 Hasil Pengukuran *Open Loop Boost Converter* Terintegrasi Solar PV Berbeban

No	Beban	Tegangan input boost / $V_{solar PV}$ (Volt)	Tegangan output boost $N_{out boost}$ (Volt)	V_{ref}	Error ($(V_{out}-V_{ref}) \cdot 100\%$ (%)
1	129.96Ω	17.34	34.55	36	1.45
2		17.97	35.81	36	0.19
3		18.64	37.14	36	1.14
4		18.82	37.5	36	1.5
5		18.86	37.58	36	1.58
6		18.93	37.72	36	1.72
7		19.13	38.12	36	2.12
Error Rata-Rata (%)					1.385714

Disamping itu dapat ditampilkan grafik tegangan keluaran yang diperoleh dari hasil pengujian rangkaian *open loop boost converter* sebagaimana gambar 4.2 berikut:

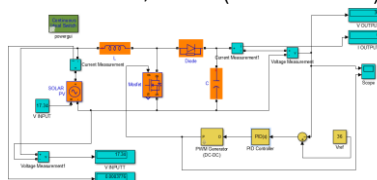


Gambar 4.3 Grafik Tegangan Keluaran Rangkaian *Open Loop*

Boost Converter Terintegrasi Solar PV Berbeban

4.3 Data Pengukuran Solar PV Pada Rangkaian *Boost Converter* Dengan *Fuzzy Logic Controller* (*Closed Loop*) Kondisi Berbeban

Berikut merupakan salah satu contoh desain rangkaian *closed loop boost converter* berbeban yang dibuat dengan sampel V_{input} solar PV sebesar 18,45 Volt (*constant* 15.77):



Gambar 4.4 Desain Rangkaian *Closed Loop Boost Converter* Terintegrasi Solar PV Berbeban

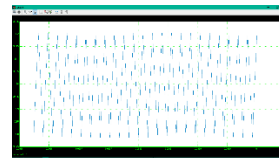
Parameter K_p , K_i , K_d dengan menggunakan metode trial and error diperoleh angka yakni untuk $K_p= 0.005$, $K_i= 9,75$, dan $K_d= 0.00000029$.

Data terukur dari hasil pengujian rangkaian *closed loop boost converter* berbeban disajikan pada tabel 4.3 berikut:

Tabel 4.3 Hasil Pengukuran *Closed Loop Boost Converter* Terintegrasi Solar PV Berbeban

No	Beban	<i>Duty Cycle</i>	$V_{solar PV}$ (Volt)	$V_{out boost}$ (Volt)	V_{ref}	Error ($(V_{out}-V_{ref}) \cdot 100\%$ (%)	
1	129.96Ω		17.34	36.01	36	0.01	
2			17.97	36.01	36	0.01	
6			18.64	36	36	0	
7			18.82	36	36	0	
8			18.86	36	36	0	
9			18.93	36	36	0	
10			19.13	36	36	0	
Error Rata-Rata (%)						0.01	

Berikut dapat ditampilkan grafik tegangan keluaran yang diperoleh dari hasil pengujian rangkaian *closed loop boost converter* sebagaimana gambar 4.3 di bawah ini:

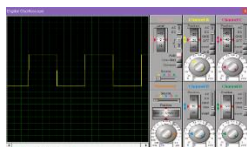


Gambar 4.5 Grafik Tegangan Keluaran Rangkaian *Closed Loop Boost Converter* Terintegrasi Solar PV Berbeban

4.4 Implementasi Rangkaian *Closed Loop Boost Converter*

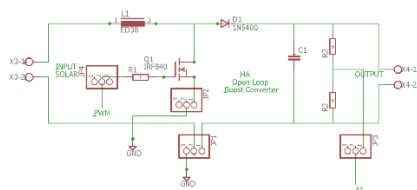
Pada penelitian ini rangkaian *closed loop boost converter* dilakukan implementasi dengan pembangkitan PWM (*duty cycle*) fungsi *switching* MOSFET menggunakan mikrokontroler arduino MEGA 2560. Pada penelitian ini pin PWM arduino yang digunakan adalah pada pin 13 sebagai *output* dan terhubung langsung dengan kaki *gate* MOSFET. Berikut merupakan *register timer* pada arduino untuk mengendalikan PWM:

```
int pwmOut=13;
void setup() {
TCCR0A = 0b10000011; // Fast PWM Timer 0
TCCR0B = 0b00000001; // no prescaler fc = 16MHz/256 = 62.5kHz
OCR0A=127; // init 50% duty cycle
pinMode(pwmOut,OUTPUT);
}
```



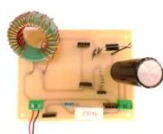
Gambar 4.6 Grafik PWM Duty Cycle Hasil Simulasi

Adapun rancangan diagram skematik dapat ditunjukkan sebagai berikut:



Gambar 4.7 Diagram Skematik Closed Loop Boost Converter

Sehingga tampilan real hardware yang akan digunakan sebagai alat pengujian adalah sebagai berikut:



Gambar 4.8 Tampilan Hardware Closed Loop Boost Converter

Data terukur dari hasil pengujian closed loop boost converter berbeban disajikan pada tabel 4.6 berikut:

Tabel 4.4 Data Hasil Pengukuran Hardware Closed Loop Boost Converter Terintegrasi Solar PV Tanpa Beban

No	Frekuensi	Vsolar PV (Volt)	Vout boost (Volt)	Vref	Error (Vout-Vref)*100% (%)
1	62.5 kHz	18.05	34.7	36	-1.3
2		19.69	36.4	36	0.4
3		20.5	37.2	36	1.2
Error Rata-Rata (%)					0.1

5. Kesimpulan dan Saran

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian dan analisa yang telah dilakukan, maka dapat diperoleh kesimpulan sebagai berikut: Rangkaian open loop boost converter berbeban dapat menaikkan tegangan input (Vin) dari solar PV bervariasi (17.34-19.01 Volt) dengan nilai dutycycle dijaga konstan 0.5. Nilai rata-rata tegangan keluaran yang dihasilkan sebesar 36.92 Volt dan error rata-rata selisih antara Voutput dengan nilai Vrefrensi (Vref)

sebesar 1.38 %. Sedangkan rangkaian closed loop boost converter berbeban dengan nilai dutycycle bervariasi yang dikendalikan oleh PID Controller dengan Kp=0.005, Ki=9.75, Kd=0.00000029 memiliki nilai rata-rata tegangan keluaran yang dihasilkan sebesar 36.006 Volt dan error rata-rata selisih antara Voutput dengan nilai Vrefrensi (Vref) sebesar 0.01%. Penggunaan PID controller pada boost converter dengan tegangan input (Vin) solar PV bervariasi dapat menghasilkan tegangan keluaran (Voutput) stabil pada setpoint yang diinginkan sebesar 36 Volt. Hasil pengujian dan pengukuran keseluruhan yang telah dilakukan pada hardware closed loop boost converter telah mengalami kegagalan implementasi. Hal tersebut disebabkan beberapa faktor berikut:

- Tidak terteranya algoritma pemrograman pada sketsa program arduino yang telah dibuat untuk mendapatkan duty cycle dari kontrol closed loop dengan setpoint tegangan keluaran (Voutput) yang ditetapkan sebesar 36 Volt.
- Tidak adanya hasil pengujian dan pengukuran pada rangkaian hardware closed loop boost converter kondisi berbeban akibat faktor keterbatasan waktu penelitian.

5.2 Saran

Mengamati ripple tegangan keluaran (Voutput) maupun arus keluaran (Ioutput) boost converter. Mengamati pengaruh variasi beban terhadap nilai tegangan keluaran (Voutput) maupun arus keluaran (Ioutput) boost converter. Perbaikan dan penyempurnaan dalam implementasi hardware untuk dapat diaplikasikan secara nyata pada pemasangan solar PV atau Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS)

Daftar Pustaka

- Nazif, H. 2015. "Pemodelan dan Simulasi PV-Inverter Terintegrasi ke Grid dengan Kontrol arus Ramp Comparison Of Current Contro". Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Andalas
- Pratama, A. 2014. "Desain dan Implementasi Interleaved Boost Converter Untuk Aplikasi Photovoltaic". Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknologi Industri Institut Teknologi Sepuluh Nopember. Surabaya.
- Mahmood J et.al. 2021. Control Of The Output of The PV System Based DC-DC Boost Converter Using Arduino Microcontroller. International Journal Of Science Engineering And Advance Technology : 2016
- Febrianti, R. 2020. "Rancang Bangun Sepic (Single Ended Primary Inductance Converter) Untuk Aplikasi MPPT (Maximum Power Point Tracker) Jenis Constant Voltage (CV)". Politeknik Negeri Malang.
- Kusuma, Y. 2015. "Desain Dan Implementasi Konverter DC-DC Buck Boost Dua Arah Untuk Aplikasi Kendaraan Listrik." Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- A. V. Fadilla, M. A. H. Prakoso, Nurhayati, M. N. Hidayat, and A. Hermawan, "Rancang Bangun Passive Photovoltaic 50 Wp Di Laboratorium Energi Terbarukan Politeknik Negeri Malang," Elposys: Jurnal Sistem Kelistrikan, vol. 7, no. 3, pp. 21–26, 2020
- T. U. Syamsuri, R. N. Amalia, Mudjiono, and A. Imron, "Rancang Bangun Alat Monitoring Daya Listrik di Asrama Berbasis Web Menggunakan ESP32," Elposys: Jurnal Sistem Kelistrikan, vol. 9, no. 3, pp. 139–145, 2022,