

Simulasi Rancang Bangun *Closed Loop Boost Converter* Terintegrasi *Solar PV* Berbasis Mikrokontroler

Rahma Nur Amalia¹, Wijaya Kusuma², Ruwah Joto³, Afidah Zuroida⁴, Hikmah Ariq⁵
e-mail: rahmaamalia@polinema.ac.id, wijayakusuma.polinema@gmail.com, ruwah.joto@gmail.com,
afidah.z@polinema.ac.id, hikmahariq4r@gmail.com

^{1,2,3,4}Jurusan Teknik Elektro, Politeknik Negeri Malang, Jalan Soekarno Hatta No.9 Malang, Indonesia (9 pt)

Informasi Artikel

Riwayat Artikel

Diterima 26 Agustus 2024
Direvisi 24 September 2024
Diterbitkan 30 September 2024

Kata kunci:

Boost Converter
Duty Cycle
Respon Transien
Solar PV

Keywords:

Boost Converter
Duty Cycle
Response Transient
Solar PV

ABSTRAK

Penggunaan *solar PV* secara konvensional yang memiliki beberapa tantangan dari segi intensitas radiasi cahaya matahari dan temperatur lingkungan menyebabkan tegangan keluaran cenderung fluktuatif. Sebagai langkah mitigasi permasalahan tersebut dibutuhkan aplikasi rangkaian elektronika daya berupa *boost converter* atau yang dapat disebut dengan *step-up DC-DC converter* yang sesuai. Pemilihan *step-up DC-DC converter* jenis *boost converter* ini memiliki beberapa keunggulan yakni dapat diaplikasikan pada pembangkit energi terbarukan. Pada penelitian ini pemodelan desain *boost converter* dirancang *closed loop* dengan menggunakan *controller* (pengontrol/pengendali) *PID* (*Proportional Integral Derrivative*) sehingga tegangan *output solar PV* yang fluktuatif akibat pengaruh irradiasi matahari ini dapat distabilkan sesuai dengan *setpoint* yang diinginkan untuk menyupply beban pompa 24 Volt. Tahapan penelitian ini diawali dengan menentukan perencanaan desain rangkaian, penentuan spesifikasi komponen, pembuatan algoritma pemrograman *PID Controller* dan simulasi rangkaian serta pengujian. Dari hasil pengujian simulasi terbukti bahwa rangkaian *prototype boost converter* mampu menaikkan tegangan *solar PV* bervariasi (15.68V-20.87V) dan stabil di tegangan 24 Volt. Penggunaan *PID Controller* dengan nilai $K_p=0,07$; $K_i=0,05$; $K_d=0,3$ memiliki respon transien yang cepat yakni dengan *rise time* (t_r) 1,62 ms, *settling time* (t_s) 10 ms dan *peaktime* (t_p) sebesar 33,8ms. Nilai *maximum overshoot* (M_p) juga cenderung rendah sebesar 1,5%.

ABSTRACT

The use of conventional solar PV which has several challenges in terms of sunlight radiation intensity and environmental temperature causes the output voltage to tend to fluctuate. As a mitigation step for this problem, an application of a power electronics circuit in the form of a boost converter or what can be called a step-up DC-DC converter is needed. The selection of this type of boost converter step-up DC-DC converter has several advantages, namely that it can be applied to renewable energy generators. In this study, the boost converter design modeling was designed in a closed loop using a PID (Proportional Integral Derrivative) controller so that the fluctuating solar PV output voltage due to the influence of solar irradiation can be stabilized according to the desired setpoint to supply the 24 Volt pump load. The stages of this research began with determining the circuit design planning, determining component specifications, creating a PID Controller programming algorithm and circuit simulation and testing. From the simulation test results, it is proven that the prototype boost converter circuit is able to increase the solar PV voltage varying (15.68V-20.87V) and is stable at a voltage of 24 Volts. The use of PID Controller with a value of $K_p = 0.07$; $K_i = 0.05$; $K_d = 0.3$ has a fast transient response, namely with a rise time (t_r) of 1.62 ms, settling time (t_s) of 10 ms and peak time (t_p) of 33.8 ms. The maximum overshoot value (M_p) also tends to be low at 1.5%.



Penulis Korespondensi:

Rahma Nur Amalia,
Jurusan Teknik Elektro,
Politeknik Negeri Malang,
Jl. Tertentu No. 9, Malang, Jawa Timur, Indonesia, Kode Pos.
Email: rahmaamalia@polinema.ac.id
Nomor HP/WA aktif: 082132686112

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 [1]. Apabila tingkat intensitas radiasi cahaya matahari rendah, maka nilai tegangan keluaran (*Voutput*) yang dihasilkan juga akan rendah sebanding dengan nilai arus keluarannya (*Ioutput*). Begitu pula dengan temperatur lingkungan sekitar *solar* PV yang apabila terjadi peningkatan maka tegangan keluaran (*Voutput*) yang dihasilkan akan cenderung berkurang [2]. Disamping penggunaan *solar* PV, beberapa tantangan muncul terkait dengan aplikasi beban elektronik salah satunya yakni motor *DC*. Untuk menggerakkan dan mengendalikan motor *DC* umumnya digunakan *power supply* bersifat linier maupun *switching*[3]. Akan tetapi penggunaan *power supply* linier membutuhkan lebih banyak energi karena selalu bekerja dalam kondisi aktif

Sebagai langkah mitigasi permasalahan tersebut, maka dibutuhkan aplikasi rangkaian elektronika daya berupa *DC-DC converter* yang sesuai. Dari beberapa jenis konverter tersebut, *boost converter* atau yang dapat disebut dengan *step-up DC-DC converter*. Penggunaan *DC-DC boost converter* dapat menaikkan tegangan *supply* untuk menyesuaikan dengan tegangan input suatu sistem seperti motor *DC*[4]. Secara umum terdapat 2 pemodelan desain *DC-DC boost converter* yakni *open loop* (*loop* terbuka) dan *closed loop* (*loop* tertutup)[5]. Pada pemodelan konverter *open loop* tidak terdapat umpan balik (*feedback*) dari *output* ke *input* sehingga parameter *output* yang dihasilkan tidak dikendalikan. Sedangkan 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[6].

Terdapat beberapa jenis metode pengontrol atau pengendali (*controller*) yang umum digunakan saat ini seperti metode kontrol konvensional *PID* (*Proportional Integral Derivative*). Metode *PID* ini merupakan metode kontrol linier tradisional yang umumnya digunakan dan dapat meningkatkan performa dari sistem *dc-dc converter*[6], [7]. 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.

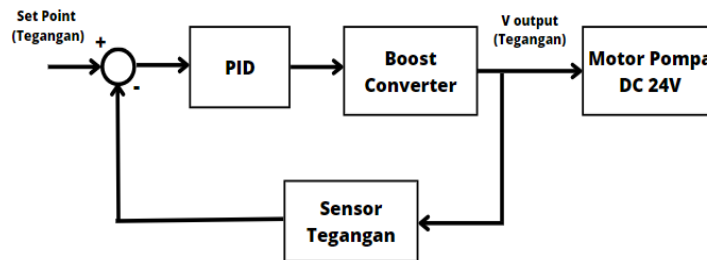
2. METODE PENELITIAN

Adapun penelitian yang akan dilakukan termasuk dalam jenis penelitian pengembangan IPTEK yakni meliputi melakukan perencanaan desain rangkaian, pemilihan spesifikasi *solar* PV dan penentuan parameter rangkaian dan spesifikasi komponen, pembuatan algoritma pemrograman *PID Controller*, desain dan simulasi rancang bangun, pengujian simulasi yakni diantaranya berupa pengujian komponen dan sensor, pengujian algoritma pemrograman *PID Controller*, pengujian simulasi rancang bangun *closed loop boost converter* yang terintegrasi *solar* PV beserta program *PID Controller* dan beban. Selanjutnya dilakukan analisa data dan evaluasi sistem, meliputi pengukuran dan analisa data.



2.1 Prosedur Penelitian

1. Perencanaan desain rangkaian *closed loop boost converter* (blok diagram sistem)



Gambar 1. Blok Diagram Sistem

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[8]. 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, maka tegangan keluaran ini perlu dijaga agar tetap pada referensi/ *setpoint*. Oleh karena itu untuk mendapatkan nilai tegangan keluaran *boost converter* sesuai dengan tegangan referensi, maka digunakan algoritma *PID* untuk mengendalikan *duty cycle*[9]. Pengendalian *duty cycle* oleh *PID Controller* diatur berdasarkan nilai konstanta *PID Controller* yakni K_p , K_i , K_d .

2. Pemilihan *solar pv* dan penentuan parameter rangkaian serta spesifikasi komponen
 - a. Solar pv

Solar PV yang digunakan adalah solar PV jenis Monocrystalline dengan spesifikasi sebagai berikut:

Tabel 1. Tabel Spesifikasi *Solar PV*

Merk	Sunwatt
Pmp (Daya <i>maximum power point</i>)	50 Wp
Vmp(Tegangan <i>maximum power point</i>)	19,56V
Voc (Tegangan <i>open circuit</i>)	22,18V
Isc (Arus <i>short circuit</i>)	2,56A
Dimensi	(570x455x30) mm
Efisiensi	20,70%

- b. induktor (L1)

Untuk menentukan nilai induktansi pada komponen induktor yang digunakan dapat ditentukan dengan persamaan berikut [3]:



$$L_{crit} \geq 1 - \frac{V_{in} \times D_{maks}}{f_s \times \Delta I_L}$$

Berdasarkan hasil perhitungan dengan persamaan di atas, maka digunakan induktor ferrite dengan nilai 17µH.

c. kapasitor (C1)

Untuk menentukan nilai kapasitansi pada komponen induktor yang digunakan dapat ditentukan dengan persamaan berikut berikut [3]:

$$C \geq \frac{I_{out} \times D_{maks}}{f_s \times \Delta V_{out}}$$

Berdasarkan hasil perhitungan maka digunakan kapasitor dengan ukuran kapasitansi sebesar 120,3 µF.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Pengujian Solar PV

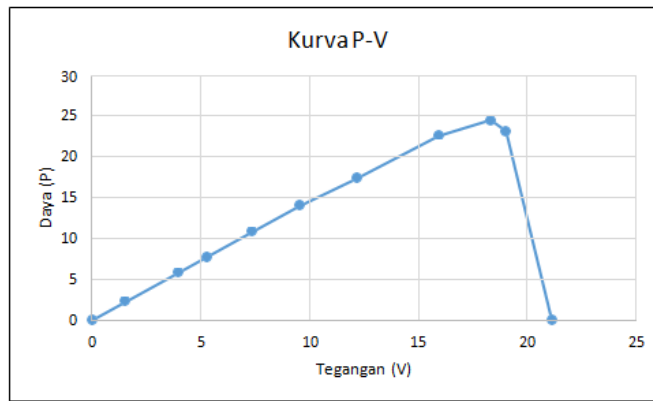
Berikut merupakan data pengujian *solar* PV secara *realtime*. Pengujian dilakukan pada jam 9.00 pada tanggal 20 Juli 2023 di Rumah Ketua Peneliti. Berdasarkan hasil pengukuran didapatkan radiasi sebesar 921.4 W/m² dengan suhu panel 48.7 °C. Terlihat dalam Tabel 5, titik daya maksimum (P) yang didapat yaitu 24.52 Watt pada tegangan (V) 18.3V dengan arus (I) 1.34 A.

Tabel 2. Pengujian *solar* PV

No	Jam	Tegangan(V)	Arus(A)	Daya (P) VxI	Radiasi (W/m ²)	Suhu Panel (°C)
1		21.1 *)	0	0		
2		19	1.22	23.18		
3		18.3	1.34	24.52		
4		15.9	1.42	22.58		
5		12.1	1.43	17.3		
6	9.00	9.5	1.47	13.96	921.4	48.7
7		7.3	1.47	10.73		
8		5.2	1.47	7.64		
9		3.9	1.47	5.73		
10		1.5	1.47	2.2		
11		0	1.47**)	0		

Dari Tabel 2 kemudian dapat ditampilkan hubungan kurva daya (P) terhadap tegangan (V) *solar* PV sebagai berikut:





Gambar 2. Grafik Kurva P-V Solar PV

3.2 Tuning PID Controller

Berikut merupakan hasil percobaan *tuning* parameter *PID Controller* dengan pengujian menghubungkan *prototype closed loop boost converter* dengan beban resistor geser yang dilakukan untuk mendapatkan nilai K_p , K_i , K_d yang terbaik yang dapat disajikan pada tabel berikut:

Tabel 3. Respon Transien Parameter *Proportional* (K_p)

No	K_p	Rise time (tr) ms	Maximum Overshoot (Mp) %	Error Steadystate (ess)
1	0,2	9.3081	0.4167	1.6
2	0,3	5.8570	0.9583	1.2442
3	0,4	3.4336	1.5417	0.795
4	0,5	3.8810	0.9583	0.8432
5	0,7	2.5712	2.2083	0.7642

Berdasarkan tabel diatas, dipilih nilai $K_p=0,7$ sebagai nilai yang terbaik dikarenakan memiliki nilai *rise time* (t_r) yang paling cepat.

Tabel 4. Respon Transien Parameter *Derivative* (K_d)

No	K_p	Rise time (tr) ms	Maximum Overshoot (Mp) %	Error Steadystate (ess)
1	0	2.5712	2.2083	0,7642
2	0,3	3.0780	1.8333	0,8184
3	0,5	2.5814	1.2917	0,7888
4	0,7	2.5712	2.2083	0,7988



5	1	3.2941	3.1250	0,8112
---	---	--------	--------	--------

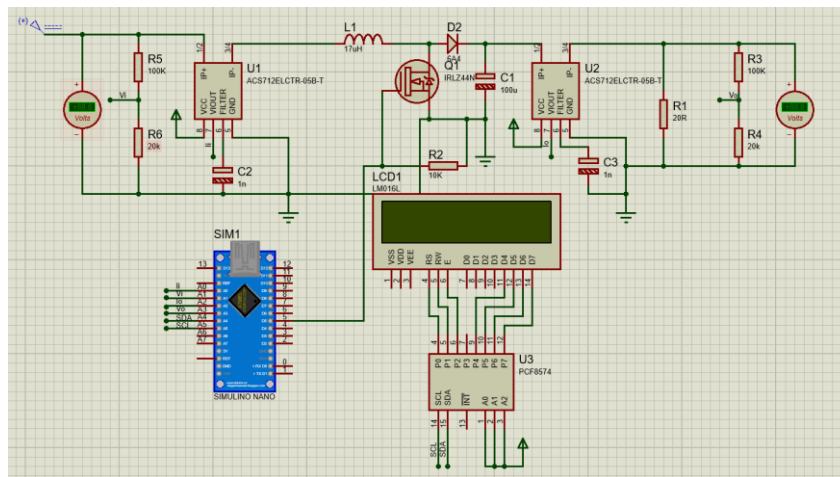
Tabel 5. Respon Transien Parameter *Integral* (Ki)

No	Kp	Rise time (tr) ms	Maximum Overshoot (Mp) %	Error Steadystate (ess)
1	0	3.0780	1.8333	0,8184
2	0,05	2.5895	1.3750	0,6004
3	0,1	3.2538	1.4167	0.818824
4	0,2	2.9227	1.4583	0.724
5	0	3.0780	1.8333	0,8184

Setelah dilakukan analisa dan pengamatan data, diperoleh hasil *tuning* yang terbaik yakni $K_p=0,07$ $K_i=0,05$ $K_d=0,3$. Sehingga angka tersebut yang kemudian akan digunakan pada simulasi.

3.3 Simulasi Rancang Bangun Closed Loop Boost Converter

Pada penelitian ini simulasi rancang bangun *closed loop boost converter* digambarkan secara diagram skematik pada *software* PROTEUS 8 *Professional*[10]. Rangkaian dilengkapi dengan dengan pembangkitan PWM (*duty cycle*) fungsi *switching* MOSFET menggunakan mikrokontroler arduino NANO dan di dalamnya terdapat penambahan sketsa pemrograman *PID Controller* yang merupakan standar *library* untuk mengimplementasikan sistem *PID* secara mudah dan efisien yang telah di tulis menggunakan bahasa C++.



Gambar 3. Diagram Skematik Simulasi Rancang Bangun *Closed Loop Boost Converter*

Pin PWM arduino yang digunakan adalah pin 5 sebagai *output* dan terhubung langsung dengan kaki *gate* MOSFET. Berikut merupakan *register tuning parameter PID* dan *register code* arduino untuk mengendalikan PWM:



```
//Specify the links and initial tuning parameters
float Kp = 0.7, Ki = 0.05, Kd = 0.3;

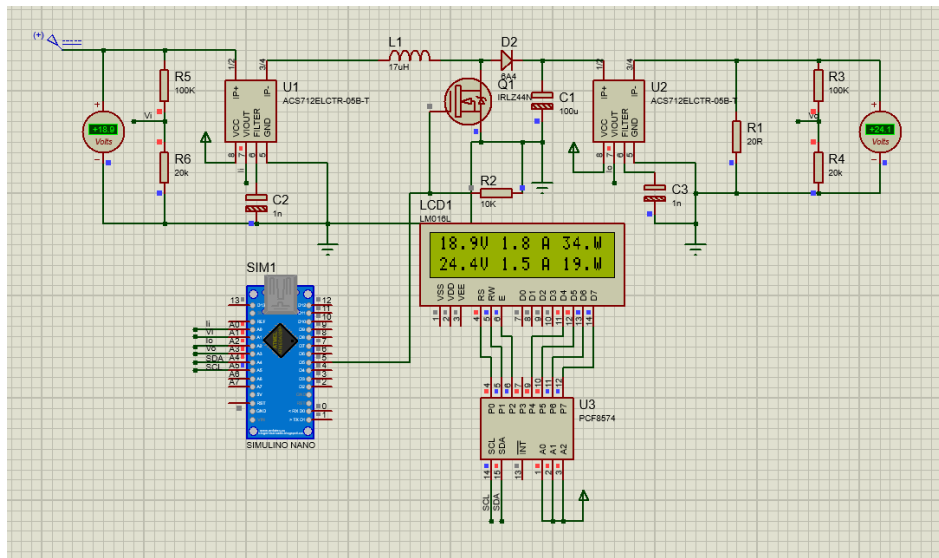
float targetVoltage = 24.0;//Setpoint

float minValue = 20;
float maxValue = 108;

int pwmOut = 5; //pin PWM
```

Gambar 4. Register *Tuning* Parameter *PID* & *PWM*

Setelah dilakukan *running simulation* pada *software* PROTEUS 8 dengan menginputkan *code* Arduino yang sebelumnya sudah dikonversi menjadi file .hex, maka dapat tertampil angka sebagai berikut:



Gambar 5. Tampilan *Running Simulation* Pada *Software* PROTEUS 8 *Professional*

Berdasarkan gambar hasil *running simulation* rangkaian tampak bahwa dengan nilai tegangan *input* (V_{in}) solar PV pada rangkaian *closed loop boost converter* sebesar 18,86 Volt (Pembulatan *software* 18,9 Volt) , maka tertampil pada layar LCD nilai tegangan yang dihasilkan sebesar 24,2 V. Simulasi kemudian dilakukan secara berulang dengan nilai tegangan *input* (V_{in}) solar PV yang bervariasi yang diperoleh dari hasil pengukuran secara *realtime*. Adapun hasil simulasi dapat disajikan pada tabel sebagai berikut:

Tabel 6. Data Pengujian Simulasi Rancang Bangun *Closed Loop Boost Converter*

No	V_{in} (V)	V_{out} (V)	I_{in} (A)	I_{out} (A)	P_{in} (W)	P_{out} (W)	η (%)
1	20, 32	26,0	1,9	1,6	67	41	61,1
2	18, 86	24,2	1,8	1,5	34,0	19,0	55,88
3	19, 12	24,5	1,8	1,5	35,0	20,0	57,14



4	18,58	24,1	1,5	1,5	44,0	34,0	77,2
5	19,37	24,9	1,7	1,5	60,0	37,0	61,6

Dari data di atas dapat disimpulkan bahwa rangkaian *closed loop boost converter* menggunakan *PID Controller* dapat menaikkan tegangan *input* (V_{input}) bervariasi dari *sample* data yang diambil dirata-rata yakni dengan nilai V_{input} 19,25 Volt dan nilai tegangan keluaran stabil dengan rata-rata nilai 24,74 Volt dan efisiensi sebesar 62,584%.

3.4 Pengujian Respon Transien

Berikut merupakan grafik tegangan keluaran yang diperoleh dari hasil pengujian simulasi rancang bangun *closed loop boost converter* dan ditampilkan menggunakan *software* MATLAB:



Gambar 6. Grafik Tegangan Keluaran *Closed Loop Boost Converter* menggunakan *PID Controller*

Dari grafik tegangan keluaran pada Gambar 6 di atas, kemudian dapat diambil hasil *plot* dan *stepinfo* data berikut:

- *Rise time* (t_r): waktu yang dibutuhkan suatu respon sistem mencapai 10 -90%, 5%- 95% atau 0%-100%
- *Maximum Overshoot* (M_p): Nilai puncak maksimum respon sistem yang dihitung dari nilai *steady state* atau selisih nilai *setpoint* dengan nilai actual puncak
- *Settling time* (t_s): Waktu yang diperlukan suatu respon sistem mencapai dan menetap pada suatu rentang toleransi nilai *steady state* yaitu 2% hingga 5% dari nilai *setpoint*
- *Peak Time* (t_p): Waktu yang dibutuhkan sistem mencapai puncak lewatan pertama kali
- *Error Steadystate* (ess): *Error* selisih antara nilai tegangan yang diinginkan (*setpoint*) dengan nilai aktual tegangan output yang dihasilkan (V_{output})

Diperoleh hasil data tanggapan respon transien dari sistem *closed loop boost converter* yang disajikan pada tabel di bawah ini:

Tabel 7. Data Respon Transien *Closed Loop Boost Converter*

No	T_r (ms)	T_s (ms)	M_p (%)	T_p (ms)	Ess (ms)	T_r (ms)	T_s (ms)
1	0,89	6	1,46	29	0.60	0,89	6
2	2,39	8,65	1,42	44	0.75	2,39	8,65



3	1,2	9,38	1,54	21	0.64	1,2	9,38
4	1,56	7,09	1,21	45	0.52	1,56	7,09
5	2,07	17,18	1,88	30	1.74	2,07	17,18

Berdasarkan data respon transien di atas dapat disimpulkan bahwa rangkaian closed loop boost converter menggunakan PID Controller dapat memperbaiki respon transien yakni dengan mempercepat nilai rise time (t_r) sebesar 1,62 ms dan mempercepat nilai settling time (t_s) sebesar 10 ms. Nilai error steadystate juga cenderung rendah yakni sebesar 0,85.

4. KESIMPULAN

Tahapan proses simulasi rancang bangun closed loop boost converter terintegrasi solar PV berbasis mikrokontroler dilakukan secara berurutan yakni perencanaan desain rangkaian (blok diagram sistem), pemilihan solar PV dan penentuan parameter rangkaian serta spesifikasi komponen, pengujian meliputi pengujian solar PV, algoritma pemrograman Tuning PID Controller dan PWM, running simulation diagram skematik rangkaian, pengujian respon transien dan analisa data. Berdasarkan hasil pengujian solar PV pada jam 9.00 pada tanggal 20 Juli 2023 didapatkan radiasi sebesar 921.4 W/m^2 dengan suhu panel $48.7 \text{ }^\circ\text{C}$. Pada kurva P-V yang merupakan pengujian solar PV menggunakan resistor geser dengan radiasi matahari 921.4 W/m^2 dan suhu panel 48.70°C yang diukur menggunakan voltmeter dan amperemeter diperoleh tegangan tertinggi merupakan tegangan open circuit (V_{oc}) pada 21.1 dan Arus short circuit (I_{sc}) pada 1.47 A.

5. UCAPAN TERIMA KASIH

Pada bagian ini dituliskan ucapan terima kasih terhadap pihak-pihak yang membantu terselesainya penelitian ini serta ucapan terima kasih terhadap tim editorial Jurnal Teknologi Elektro atas dipublikasikannya penelitian ini: Allah S.W.T, karena atas kehendak dan Ridho dari-Nya lah jurnal dapat terselesaikan dengan sebaik-baiknya, Kepada rekan-rekan penulis, Kepada tim editorial Jurnal Teknologi Teknik Elektro atas dipublikasikannya penelitian ini, serta Kepada P3M Politeknik Negeri Malang yang suda memberikan bantuan dana sehingga penelitian ini dapat dirampungkan secara lancar.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] A. Gagliano, G. M. Tina, S. Aneli, and S. Nizetić, "Comparative assessments of the performances of PV/T and conventional solar plants," *Journal of Cleaner Production*, vol. 219, 2019, doi: 10.1016/j.jclepro.2019.02.038.
- [2] S. Shahria, Md. H. Ullah, M. Mashud, A. H. Mokther, E. Hoq, and Md. M. Rahman, "Effect of Temperature and Solar Panel Position on Solar PV System Performance: A Review," *Energy and Thermofluids Engineering*, vol. 2, 2023, doi: 10.38208/ete.v2.729.
- [3] A. A. Abbood, "Harmonic spectra of BLDC motor supplied by a solar PV," *Indonesian Journal of Electrical Engineering and Computer Science*, vol. 20, no. 3, 2020, doi: 10.11591/ijeecs.v20.i3.pp1693-1702.
- [4] S. Hasanpour, Y. P. Siwakoti, and F. Blaabjerg, "A New High Efficiency High Step-Up DC/DC Converter for Renewable Energy Applications," *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, vol. 70, no. 2, 2023, doi: 10.1109/TIE.2022.3161798.
- [5] R. N. Amalia and Wijaya Kusuma, "Desain Simulasi dan Analisa Closed Loop Boost Converter Terintegrasi Solar PV Berbasis PID," *Elposys: Jurnal Sistem Kelistrikan*, vol. 10, no. 1, 2023, doi: 10.33795/elposys.v10i1.1078.
- [6] A. Abusorrah *et al.*, "Stability of a boost converter fed from photovoltaic source," *Solar Energy*, vol. 98, no. PC, 2013, doi: 10.1016/j.solener.2013.09.001.



- [7] D. Hendrawati *et al.*, "DESIGN AND PERFORMANCE EVALUATION OF ANALYTIC-TUNING PID ON BOOST CONVERTER FOR 200 WP PHOTOVOLTAIC," *Journal of Engineering Science and Technology*, vol. 18, no. 4, 2023.
- [8] A. W. Hasanah, T. Koerniawan, and Y. Yuliansyah, "KAJIAN KUALITAS DAYA LISTRIK PLTS SISTEM OFF-GRID DI STT-PLN," *Energi & Kelistrikan*, vol. 10, no. 2, 2019, doi: 10.33322/energi.v10i2.211.
- [9] O. Elbaksawi, "Design of photovoltaic system using buck-boost converter based on MPPT with PID controller," *Universal Journal of Electrical and Electronic Engineering*, vol. 6, no. 5, 2019, doi: 10.13189/ujeee.2019.060502.
- [10] A. Kalirasu and S. Dash, "Simulation of closed loop controlled boost converter for solar installation," *Serbian Journal of Electrical Engineering*, vol. 7, no. 1, 2010, doi: 10.2298/sjee1001121k.

