

Photovoltaic Maksimum *Power Point Tracking* (MPPT) Berbasis *Fuzzy Logic* Kontroler Pada Konverter Buck

Faradilla Sherinadhifa¹, Donny Radianto², Herwandi³

e-mail: faradilaserin82@gmail.com, donny.radianto@polinema.ac.id, herwandi@polinema.ac.id

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

Informasi Artikel

Riwayat Artikel

Diterima 1 Oktober 2022

Direvisi 8 November 2023

Diterbitkan 31 Mei 2023

Kata kunci:

Aki
Fuzzy Logic Controller
Konverter Buck
Photovoltaic
MPPT

Keywords:

Accu
Fuzzy Logic Controller
Buck Converter
Photovoltaic
MPPT

ABSTRAK

Dengan bertambahnya kebutuhan fosil sebagai energi utama menjadi pendorong digunakannya energi terbarukan sebagai solusi agar penggunaan bahan bakar fosil dapat berkurang. Salah satu sumber energi terbarukan yang memiliki potensi terbesar di Indonesia yaitu energi surya. Energi surya akan dikonversi menjadi energi listrik secara langsung dengan memanfaatkan modul *photovoltaic*. Modul *photovoltaic* memiliki kelemahan dalam memperoleh daya keluaran maksimum karena iradiasi maupun suhu yang diterimanya berubah-ubah. Maka dari itu, *photovoltaic* membutuhkan sistem kontrol untuk menghasilkan daya maksimal yaitu dengan Maksimum *Power Point Tracking* (MPPT). Jurnal ini diimplementasikan menggunakan metode *fuzzy logic* kontroler sebagai sistem MPPT melalui mikrokontroler Arduino Uno R3 yang digunakan untuk membangkitkan sinyal PWM. Sistem MPPT akan terhubung ke DC-DC konverter buck untuk mendapatkan daya keluaran maksimal pada modul *photovoltaic* untuk proses pengisian aki. Dari hasil pengujian yang telah dilakukan, konverter buck mampu menurunkan tegangan keluaran *setpoint* sebesar 14V yang merupakan tegangan stabil untuk beban aki 12V 7Ah dengan metode *fuzzy logic* kontroler Mamdani yang menunjukkan kinerja baik. Proses pengisian aki dilakukan selama 1 jam 10 menit dengan kondisi awal 11,7V hingga penuh sebesar 13,8V.

ABSTRACT

With the increasing need for fossil fuels as the main energy source, it is the driving force for the use of renewable energy as a solution that can reduce the use of fossil fuels. One of the renewable energy sources that have the greatest potential in Indonesia is solar energy. Solar energy will be converted into electrical energy directly by utilizing photovoltaics module. The photovoltaic module has a weakness in obtaining maximum output power because the irradiation and temperature it receives vary. Therefore, photovoltaics requires a control system to produce maximum power, namely Maximum Power Point Tracking (MPPT). This journal is implemented using the fuzzy logic controller method as an MPPT system through the Arduino Uno R3 microcontroller which is used to generate PWM signals. The MPPT system will be connected to a DC-DC buck converter to get maximum output power on the photovoltaic module for the battery charging process. From the results of the tests that have been carried out, the buck converter can reduce the set point output voltage of 14V, which is a stable voltage for 12V 7Ah battery loads with the Mamdani fuzzy logic controller method, which shows good performance. The process of charging the battery is carried out for 1 hour and 10 minutes with the initial conditions of 11,7V until it is full at 13,8V.



Penulis Korespondensi:

Faradilla Sherinadhifa,
Jurusan Teknik Elektro,
Politeknik Negeri Malang,
Jl. Soekarno Hatta No. 9, Malang, Jawa Timur, Indonesia, Kode Pos. 65141
Email: faradilaserin82@gmail.com
Nomor HP/WA aktif: +6281232496863

1. PENDAHULUAN

Indonesia masih memiliki keterbatasan untuk memenuhi kebutuhan energi untuk semua rakyatnya. Tingginya kebutuhan bahan bakar fosil sebagai sumber energi utama untuk dikonversi menjadi energi listrik mengakibatkan terbatasnya cadangan akan gas bumi, minyak bumi, dan batu bara. Selain itu bahan bakar fosil juga memiliki tingkat emisi gas CO_2 yang sangat tinggi dan berdampak buruk bagi manusia. Hal ini menjadi penyebab beralihnya penggunaan energi alternatif yaitu energi terbarukan.

Salah satu sumber energi terbarukan yang perkembangannya cukup pesat di dunia termasuk Indonesia yaitu energi surya. Posisi Indonesia sebagai negara beriklim tropis yang mendapatkan sinar matahari sepanjang tahun dan kekayaan alam pasir silika merupakan anugerah yang harus dioptimalkan. Potensi pengembangan energi surya sangat besar, tercatat Indonesia memiliki potensi energi surya sebesar 207.898 MW (4,80 kWh/m²/hari). (ESDM, 2019)

Energi surya akan dikonversi menjadi energi listrik secara langsung dengan memanfaatkan *photovoltaic*. Aplikasi teknik pemasangan sel surya pada negara tropis mayoritas cenderung lebih datar. Hal ini menyebabkan cahaya matahari pagi hari dan sore hari tidak berada pada posisi yang tepat terhadap arah datangnya matahari. Akibatnya jumlah energi listrik yang bisa dibangkitkan menjadi lebih sedikit daripada seharusnya. Penempatan sel surya yang optimal sangat diperlukan agar dapat menghasilkan energy yang optimal [1].

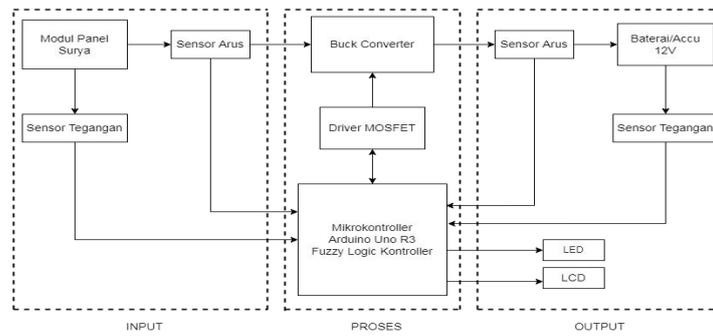
Panel surya memiliki kelemahan dalam memperoleh daya keluaran maksimum karena iradiasi maupun suhu yang diterimanya berubah-ubah karena dipengaruhi oleh waktu, iklim, polusi dan musim. Dengan demikian, panel surya memerlukan sebuah sistem kontrol Maksimum *Power Point Tracking* (MPPT) untuk menghasilkan titik daya maksimum. Energi dari panel surya dapat disimpan dalam aki untuk memaksimalkan proses konversi energi matahari menjadi listrik. Energi dapat disimpan dalam baterai yang dapat digunakan pada malam hari sebesar tingkat tegangan panel surya yang sesuai dengan perubahan radiasi cahaya matahari. Namun, sebelum proses pengisian aki berlangsung, harus digunakan konverter untuk menstabilkan tegangan pada panel surya agar tidak merusak aki itu sendiri. Konverter buck digunakan untuk menurunkan tegangan keluaran dari *photovoltaic* dengan menggunakan metode *fuzzy logic* kontroler sebagai pengatur nilai *duty cycle* sehingga tegangan keluaran dari konverter buck dapat disesuaikan dengan tegangan yang dibutuhkan untuk proses pengisian aki.

2. METODE PENELITIAN

2.1 Diagram Blok Sistem

Diagram blok merupakan sebuah perencanaan perancangan sistem yang dibuat sesuai dengan spesifikasi sistem kerja alat yang direncanakan. Diagram blok ini terdiri dari *input*, proses, dan *output*.





Gambar 1: Diagram Blok Sistem

Berdasarkan diagram blok sistem pada gambar 1, terdapat *input* modul panel surya sebagai media penyimpanan energi matahari menjadi energi listrik dengan menyimpan tegangan yang telah dihasilkan melalui aki sebesar 12V 7Ah. Sensor arus dan sensor tegangan berfungsi untuk mengukur besarnya arus dan tegangan keluaran panel surya. Pada bagian proses, terdapat *buck converter* yang berfungsi untuk penurunan tegangan dari panel surya untuk pengisian aki sebesar 14V. Mikrokontroler Arduino uno R3 sebagai pengendali system dan pengatur *duty cycle* berdasarkan besarnya PWM dengan MPPT *fuzzy logic* kontroler. Pada bagian *output*, baterai/accu berfungsi sebagai media penyimpanan energi listrik dari panel surya. LED digunakan untuk indikator saat proses pengisian aki. LCD untuk display tegangan, arus dan daya dari *input* dari panel surya dan dari *output* yang diperoleh setelah diproses dengan metode *fuzzy logic* kontroler.

2.2 Perancangan Mekanik



Gambar 2: Desain Mekanik

Gambar 2 merupakan desain mekanik tiang penyangga *photovoltaic* dengan ukuran panjang penyangga 103 cm, lebar penyangga 54 cm, tinggi 150 cm yang dilengkapi dengan box panel dengan ukuran panjang 25 cm, lebar 12 cm dan tinggi 35 cm.

2.3 Perancangan Buck Converter

Buck converter digunakan untuk penurunan tegangan keluaran modul *photovoltaic* agar sesuai dengan tegangan yang dibutuhkan saat proses pengisian aki. Spesifikasi *photovoltaic* dapat dilihat pada tabel I sedangkan parameter dari *buck converter* dapat dilihat pada tabel II.

TABEL I: SPESIFIKASI *PHOTOVOLTAIC* 120WP *MONOCRYSTALLINE*

Spesifikasi	Keterangan
Model	SP120-18M
Rated Max Power (Pmax)	120W
Cell Efficiency	21,50%



<i>Open Circuit Voltage (VOC)</i>	24,8V
<i>Short Circuit Current (ISC)</i>	6,65A
<i>Current at Pmax (Imp)</i>	6,25A
<i>Voltage at Pmax (Vmp)</i>	19,2V
<i>Maximum System Voltage</i>	1000V DC
<i>Dimension (mm)</i>	1000 x 670 x 30mm
<i>Number of Cells</i>	36

TABEL II: PARAMETER *BUCK CONVERTER*

Parameter	
Tegangan Masukan	16 V – 25 V
Tegangan Keluaran	14 V
Arus Keluaran	2A
Frekuensi	30 KHz

Untuk mendapatkan hasil keluaran *buck converter* yang sesuai, diperlukan perhitungan komponen-komponen yang tepat agar menghasilkan keluaran yang stabil. Untuk menentukan nilai dari *duty cycle*, induktor dan kapasitor mengacu pada "(1)" hingga "(6)".

a. Perhitungan *duty cycle*

$$D_{min} = \frac{V_{out}}{V_{in\ min}} = \frac{14}{16} = 0,875 \quad (1)$$

$$D_{max} = \frac{V_{out}}{V_{in\ max}} = \frac{14}{25} = 0,56 \quad (2)$$

b. Perhitungan induktansi minimum dengan mode CCM (*Continuous Conduction Mode*) dengan estimasi *ripple* 30%

Besarnya *peak to peak ripple currents*

$$\begin{aligned} \Delta i_L &= 30\% \times I_{out} \\ &= 30\% \times 2 \\ &= 0,6 \text{ A} \end{aligned} \quad (3)$$

Besarnya Induktor

$$\begin{aligned} L_{min} &= D \frac{(V_{in\ min} - V_{out})}{\Delta i_L \times f_s} \\ L_{min} &= 0,875 \frac{16 - 14}{0,6 \times 30000} \\ &= 9,722 \times 10^{-5} \text{ H} \\ &= 97 \mu\text{H} \end{aligned} \quad (4)$$

Untuk mendapatkan kondisi CCM pada *buck converter* maka dari hasil perhitungan didapatkan hasil induktansi sebesar 97 μH . Dari hasil perhitungan yang didapatkan maka dapat digunakan nilai induktansi yang lebih besar agar *ripple* arus yang dihasilkan konverter lebih kecil. Maka dari itu, digunakannya induktor dengan nilai induktansi sebesar 100 μH .

c. Perhitungan kapasitansi minimum dengan mode CCM (*Continuous Conduction Mode*)

Besarnya *peak to peak ripple voltage*

$$\begin{aligned} \Delta v_L &= 1\% \times V_{out} \\ &= 30\% \times 14 \\ &= 0,14 \text{ V} \end{aligned} \quad (5)$$

Besarnya Kapasitor

$$\begin{aligned} C_{out\ min} &= \frac{\Delta i_L}{8 \times f_s \times \Delta v_L} \\ C_{out\ min} &= \frac{0,6}{8 \times 30000 \times 0,14} \\ &= 1,78 \times 10^{-5} \text{ F} \end{aligned} \quad (6)$$



$$= 17 \mu\text{F}.$$

Dari hasil perhitungan yang didapatkan maka dapat digunakan nilai kapasitansi yang ada dipasaran yaitu sebesar 10 μF .

2.4 Perancangan Sensor Tegangan

Pada rangkaian yang tertera pada gambar 3 digunakan 2 sensor pembagi tegangan yang digunakan untuk mendeteksi tegangan pada *output* modul *photovoltaic* dan *output buck converter* yang akan diproses oleh metode *fuzzy logic* kontroler. Data dari sensor ini akan dibaca oleh pin analog Arduino uno yang kemudian data tersebut akan ditampilkan pada *display* LCD. Rangkaian ini menggunakan rumus pembagi tegangan dari dua buah resistor 10K Ω dan 2K Ω yang disusun secara seri yang mengacu pada "(7)".

$$V_{out} = \frac{V_{in} \times R_2}{(R_1 + R_2)} \tag{7}$$

Dimana diketahui, $V_{out} = 5$; $V_{in} = 30$; dan $R_1 = 10\text{K}\Omega$

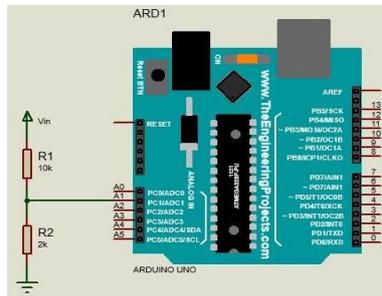
$$5 = \frac{30 \times R_2}{(10\text{K}\Omega + R_2)}$$

$$5 \times (10\text{k}\Omega + R_2) = 30 \times R_2$$

$$50\text{k}\Omega + 5R_2 = 30R_2$$

$$R_2 = \frac{50\text{k}\Omega}{25}$$

$$R_2 = 2\text{k}\Omega$$

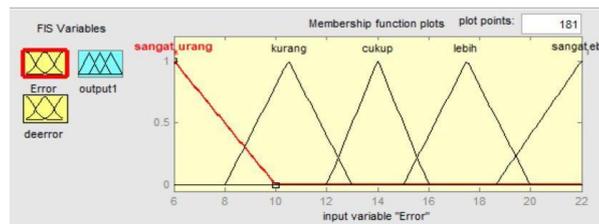


Gambar 3: Rangkaian Sensor Pembagi Tegangan

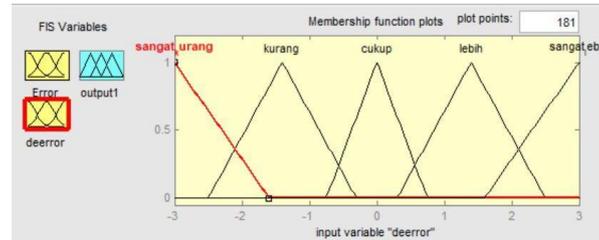
2.5 Perancangan Metode Fuzzy Logic Kontroler

Perancangan *fuzzy logic* kontroler ini digunakan untuk mengontrol nilai tegangan *output* dari *buck converter* yang selanjutnya diproses oleh fuzzyfikasi dan diubah menjadi *membership function* (fungsi keanggotaan) *error* dan *delta error*. Fuzzy yang digunakan merupakan fuzzy tipe 1 mamdani dengan *rule base* 5 x 5. Keanggotaan pada *membership function error* dan *delta error* dibagi menjadi 5 yaitu Sangat Kurang, Kurang, Cukup, Lebih, dan Sangat Lebih. *Error* (E) merupakan selisih tegangan aktual dengan tegangan referensi (*setpoint*) sedangkan *Delta Error* (dE) merupakan selisih nilai *error* (E) dengan nilai *error* tegangan sebelumnya *Membership Function error* dan *delta error* ditunjukkan pada gambar 4 dan gambar 5.



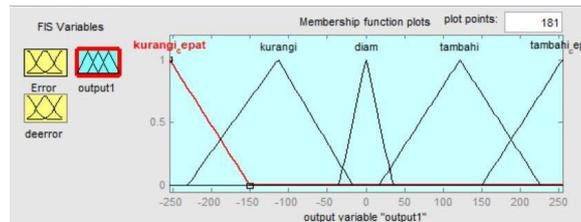


Gambar 4: Membership Function Error



Gambar 5: Membership Function Delta Error

Membership function output PWM ditunjukkan pada gambar 6, dimana membership function output dibagi menjadi 5 yaitu Kurang Cepat, Kurangi, Diam, Tambahi, dan Tambahi Cepat. Membership function output ini akan mengatur besarnya nilai duty cycle dari PWM untuk rangkaian buck converter.



Gambar 6: Membership Function Output PWM

Untuk memetakan nilai derajat keanggotaan masing-masing error dan delta error maka digunakan tabel yang berisi basis aturan atau rule base yang tertera pada tabel III.

TABEL III: RULE BASE

E	SK	K	C	L	SL
DE					
SK	SK	SK	SK	K	C
K	SK	SK	K	C	L
C	SK	K	C	L	SL
L	K	C	L	SL	SL
SL	C	L	SL	SL	SL

Keterangan:

- SK = Sangat Kurang
- K = Kurang
- C = Cukup
- L = Lebih
- SL = Sangat Lebih

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Pengujian Panel Surya

Pengukuran tegangan dan arus panel surya ini dilakukan dengan menggunakan multimeter dengan beban rheostat sebesar 20Ω. Gambar 7 menunjukkan hasil pengujian tegangan dan arus dengan input panel surya.



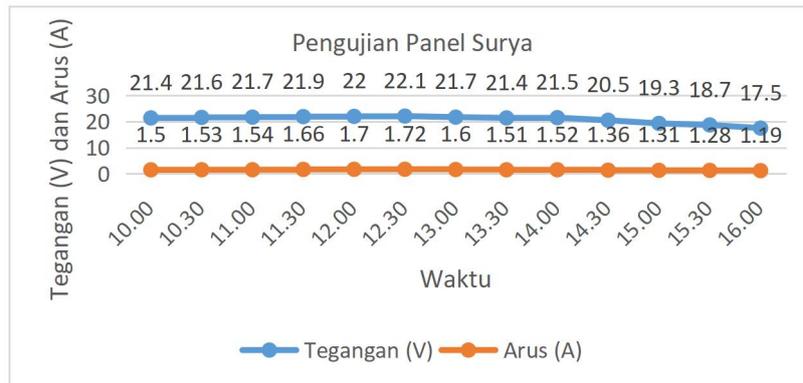


Gambar 7: Pengujian Tegangan dan Arus Pada Panel Surya

Hasil pengujian tegangan dan arus pada panel surya dengan beban ditunjukkan pada tabel IV.

TABEL IV: DATA HASIL PENGUJIAN PANEL SURYA DENGAN BEBAN

Percobaan ke-	Waktu	Multimeter	
		Tegangan (V)	Arus (A)
1	10.00	21,4	1,50
2	10.30	21,6	1,53
3	11.00	21,7	1,54
4	11.30	21,9	1,66
5	12.00	22,0	1,70
6	12.30	22,1	1,72
7	13.00	21,7	1,60
8	13.30	21,4	1,51
9	14.00	21,5	1,52
10	14.30	20,5	1,36
11	15.00	19,3	1,31
12	15.30	18,7	1,28
13	16.00	17,5	1,19



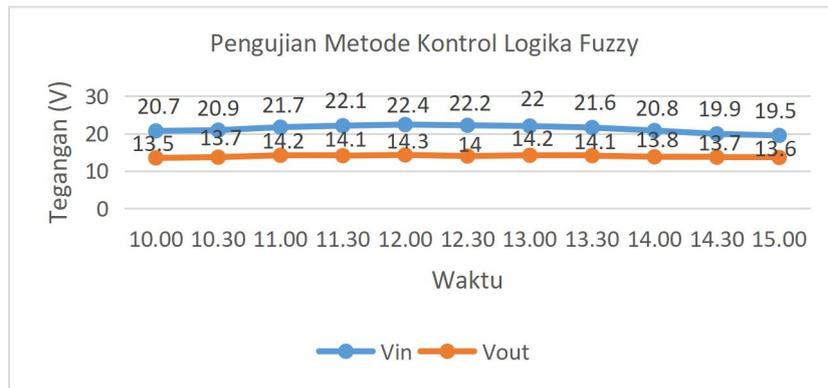
Gambar 8: Grafik Pengujian Panel Surya

Berdasarkan gambar 8 dapat dilihat bahwa grafik pengujian pada panel surya tegangan saat pukul 10.00 hingga 16.00 diatas 14V. Tegangan harus diturunkan menggunakan DC-DC *buck converter* sesuai dengan *setpoint* yang ditentukan yaitu sebesar 14V. Karena untuk proses pengisian pada aki 12V dibutuhkan tegangan dengan *range* 13,2V hingga 14V agar pengisian lebih stabil. Pengambilan data panel surya dilakukan selama 360 menit dan di amati setiap 30 menit sekali. Kondisi tegangan dan arus dapat berubah ubah karena pengaruh iradiasi matahari dan cuaca. Tegangan dan arus terukur saat pukul 12.30 sebesar 22,1V dan 1,70A dapat dikategorikan dalam keadaan maksimal.

3.2 Pengujian Metode *Fuzzy Logic* Kontroler

Tujuan dari pengujian ini adalah untuk mengetahui respon sistem *fuzzy logic* kontroler terhadap perubahan *output* tegangan.





Gambar 9: Grafik Pengujian Metode Fuzzy Logic Kontroler

Berdasarkan grafik pada gambar 9 yang merupakan pengujian metode kontrol logika fuzzy terdapat tegangan masukan (*V_{in}*) yang diperoleh dari panel surya dan tegangan keluaran (*V_{out}*) diperoleh setelah melalui *buck converter* dan diatur dengan metode *fuzzy logic* kontroler agar mencapai *setpoint* sebesar 14V. Saat pukul 12.30 tegangan masukan yang diperoleh dari *input* panel surya sebesar 22,2V, kemudian setelah melalui *buck converter* dengan menggunakan metode *fuzzy logic* kontroler maka tegangan keluaran menjadi 14V karena tegangan telah diturunkan dengan *buck converter*.

3.3 Pengujian Buck Converter Dengan Metode Fuzzy Logic Kontroler

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui kinerja keseluruhan alat yaitu *buck converter* dengan menggunakan metode *fuzzy logic* kontroler untuk pengisian aki.

TABEL V: PENGUJIAN BUCK CONVERTER DENGAN METODE FUZZY LOGIC KONTROLER

Waktu	Tegangan Input (V)	Arus Input (A)	Daya Input (W)	Tegangan Output (V)	Arus Output (A)	Daya Output (W)
10.00	20,7	2,19	45,3	13,5	2,58	34,83
11.00	21,7	2,45	53,1	14,2	2,94	41,7
12.00	22,4	2,56	57,3	14,3	3,42	48,9
13.00	22,0	2,49	54,7	14,2	3,37	47,8
14.00	20,8	2,24	46,5	13,8	2,63	36,2
15.00	19,5	1,97	38,4	13,6	2,19	29,7

Tabel V merupakan data yang diperoleh dari keseluruhan alat baik tegangan *input*, arus *input*, daya *input* yang diperoleh dari masukan panel surya dan tegangan *output*, arus *output*, daya *output* diperoleh setelah tegangan melalui *buck converter* yang kemudian diproses dengan metode *fuzzy logic* kontroler. Untuk perhitungan daya diperoleh dari perkalian antara tegangan dan arus dengan rumus $V \times I$. Dari pengujian dan data yang telah dihasilkan alat ini, hasil nilai rata-rata tegangan dengan *fuzzy logic* yaitu 13,9V, nilai rata-rata arus yaitu 2,85A dan rata-rata daya yaitu 39,8W sehingga alat dapat bekerja dengan baik sesuai untuk pengisian aki.

3.4 Pengujian Kontrol Charger Aki Dengan Buck Converter

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui kemampuan sistem kontrol charger pada aki yang telah dirancang menggunakan *buck converter* dengan metode *fuzzy logic* kontroler sebagai media pengisian aki 12V 7Ah. Pada tabel VI dapat dapat diketahui bahwa tegangan pada aki sebelum dilakukan pengisian yaitu sebesar 11,7V dengan arus 2,61A kemudian setelah dilakukan pengisian pada aki terjadi kenaikan tegangan sebesar 2,1V dalam rentang waktu 1 jam 10 menit sehingga tegangan aki penuh sebesar 13,8V dengan arus 0,94A dinyatakan dalam keadaan baik dengan *setpoint* sebesar 14V.



TABEL VI: PENGUJIAN KONTROL CHARGER AKI DENGAN BUCK CONVERTER

Vin	Vout	Tegangan Aki Sebelum Pengisian	Arus Aki Sebelum Pengisian	Tegangan Aki Setelah Pengisian	Arus Aki Setelah Pengisian	Durasi Pengisian
21,4 V	14 V	11,7 V	2,61 A	13,8 V	0,94 A	1 jam 10 menit

4. KESIMPULAN

Dari hasil penelitian yang telah dilakukan, menunjukkan bahwa *buck converter* dengan metode fuzzy logic kontroler dengan masukan *error* dan *delta error* untuk pengisian aki 12V 7Ah dari modul *photovoltaic* mampu bekerja dengan stabil sesuai dengan *setpoint* yang telah ditentukan yaitu 14V. Setpoint digunakan untuk membatasi tegangan jika aki sudah penuh, saat aki dalam keadaan penuh arus akan semakin kecil. Aki akan terus diisi hingga mencapai batas *setpoint*. Kondisi awal aki sebelum dilakukan pengecasan adalah 11,7V menjadi 13,8V dalam waktu 1 jam 10 menit. Waktu pengisian aki dipengaruhi oleh kondisi cuaca yang mempengaruhi tegangan dan arus yang dihasilkan oleh *buck converter*.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] D. Dewatama, M. Fauziah and H. K. Safitri, "Optimasi Buck Converter Pada Solar Tree Menggunakan Kontrol Logika Fuzzy," *Jurnal ELTEK*, No. 2, vol. 15, pp. 36-51, 2017.
- [2] O. Melfazen, "Stabilisasi Tegangan Keluaran Buck converter Dengan Metode Fuzzy Logic Controller," *Jurnal ELTEK*, No. 02, pp. 125-137, 2018.
- [3] H. Asy'ari and D. A. Widodo, "Sistem Pengisian Baterai Menggunakan Buck Konverter," *Jurnal INVOTEK (Jurnal Inovasi Vokasional dan Teknologi)*, pp. 117-124, 2018.
- [4] Y. Antonisfia and E. Madona, "Pengisian Aki Dengan Buck Converter," *Jurnal Elektron*, Vol 5, pp. 29-33, 2013.
- [5] A. Komarudin, "Desain dan Analisis Proporsional Kontrol Buck-Boost Converter Pada Sistem Photovoltaik," *Jurnal ELTEK*, No.2, vol. 12, pp. 78-89, 2014.
- [6] W. D. Mufty, D. O. Anggriawan and M. Efendi, "Baterai Charger Vrla Dengan Metode Constant Current Constant Voltage Berbasis Kontrol PI," *Jurnal Engineering and Science*, No. 1, vol. 6, pp. 235-243, 2020.
- [7] A. S. Pratiwi, S. D. Nugraha and E. Sunarno, "Desain dan Simulasi Bidirectional DC-DC Converter Penyimpanan Energi pada Sistem Fotovoltaik," *Jurnal Nasional Teknik Elektro dan Teknologi Informasi*, No. 3, vol. 9, pp. 305-310, 2020.

