

RANCANG BANGUN DC/DC CUK CONVERTER BERBASIS FUZZY LOGIC CONTROL UNTUK KENDALI BATERAI PADA PLTS SKALA KECIL

¹Rachmad Albi Igam, ²Abraham Lomi, ³Awan Uji Krismanto
Institut Teknologi Nasional, Malang, Indonesia

¹magi12rachmad@gmail.com, ²abraham@lecture.itn.ac.id, ³awan_krismanto@fti.itn.ac.id

Abstrak— Energi yang bersumber dari bahan bakar fosil banyak digunakan untuk menunjang kehidupan manusia dan semakin hari semakin habis serta menimbulkan banyak polusi. Garis katulistiwa yang melewati wilayah Indonesia mengutungkan dengan pancaran sinar matahari sepanjang tahun, memanfaatkan sinar matahari maka digunakan panel surya untuk mengatasi penggunaan bahan bakar fosil sebagai pemenuhan energi pembangkit listrik. Panel surya masih kurang efisien untuk maksimum keluaran daya yang dihasilkan karena pengaruh dari iradiasi matahari dan suhu di sekitar panel surya Penelitian ini mengusulkan implementasi kendali baterai dan DC-DC Cuk Converter dengan menggunakan algoritma Fuzzy Logic untuk meningkatkan efisiensi sistem pembangkit listrik tenaga surya. Kendali baterai diterapkan untuk mengelola arus masuk dan keluar baterai, sementara DC-DC Cuk Converter berfungsi mengubah tegangan keluaran panel surya sesuai kebutuhan beban. Keputusan menggunakan algoritma Fuzzy Logic didasarkan pada kemampuannya menangani kompleksitas non-linieritas dan fluktuasi dalam sistem energi terbarukan. Simulasi menggunakan MATLAB menunjukkan bahwa sistem kendali Cuk Converter dengan Fuzzy Logic mampu menghasilkan daya rata-rata sebesar 14V dan 3,5A. Implementasi pada prototipe fisik memperlihatkan efisiensi sebesar 14,3V dan arus tertinggi 2,5A.

Kata Kunci: Kendali Baterai, DC-DC Converter, CUK Converter, Arduino, Fuzzy Logic Control

I. PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Energi merupakan aspek penting di dalam kehidupan manusia. Untuk sekarang manusia masih menggunakan bahan bakar fosil untuk sumber energi yang diperlukan sehari – hari. Energi yang bersumber dari bahan bakar fosil digunakan untuk pembangkitan tenaga listrik semakin hari semakin habis serta polusi yang ditimbulkan banyak

merusak lingkungan dan emisi karbondioksida. Wilayah Indonesia sendiri dilewati oleh garis katulistiwa yang banyak mendapatkan penyinaran matahari sepanjang tahun dengan Intensitas radiasi matahari rata-rata sekitar 4,8 kWh/m² [1]. Untuk memanfaatkan sinar matahari maka penggunaan panel surya (*solar cell*) adalah hal yang tepat untuk mengatasi penggunaan bahan bakar fosil yang terlalu banyak sebagai pemenuhan energi untuk pembangkit tenaga listrik demi kebutuhan energi listrik di Indonesia [2].

Terdapat banyak faktor yang mempengaruhi efisiensi produktivitas daya keluaran dari panel surya contohnya kemampuan dari sel surya, perubahan iradiasi, suhu disekitar panel surya, dan metode penyimpanan. Metode algoritma yang diperlukan untuk mengoptimalkan daya keluaran dari panel surya adalah *fuzzy logic* sebagai *control* [3]. Penambahan *dc-dc converter* berperan penting sebagai pengubah tegangan *DC output* dari panel surya lebih tinggi atau rendah ke penyimpanan baterai atau beban, terdapat banyak jenis konverter yang bisa dipakai pada penelitian, contohnya *cuk converter*. *cuk converter* sendiri mirip halnya dengan konverter *buck-boost*. Konverter yang memiliki fungsi menaikkan dan menurunkan tegangan dari panel surya ke penyimpanan atau beban, namun *cuk converter* memiliki kelebihan sendiri dari konverter lainnya yaitu efisiensi konversi energi yang tinggi [4]. Penggunaan komponen daya yang tepat dapat menghasilkan kerugian daya yang minimal selama proses konversi. Penggunaan *cuk converter* memberikan keuntungan dalam efisiensi tinggi, kemampuan untuk menghasilkan tegangan yang dapat diatur, serta kompaktilitas dalam desain dan implementasi sistem daya listrik *cuk converter* dapat digunakan untuk mengkonversi dan mengatur tegangan listrik dengan tingkat akurasi yang tinggi sesuai dengan kebutuhan sistem .

Pada penelitian ini menggunakan metode *fuzzy logic control* sebagai algoritma kendali baterai untuk mengoptimalkan *output* dari panel surya untuk mendapatkan daya maksimal karena kemampuan menangani

ketidakpastian, *non-linier*, variabilitas dalam data *input* untuk menghasilkan *output* yang adaptif dan akurat, adaptasi dengan fluktuasi pada sistem secara real time untuk mengoptimalkan kinerja kontrol sistem, serta fleksibilitas dalam penyesuaian pada sistem dengan dibandingkan metode algoritma konvensional yang telah disarankan oleh beberapa literatur seperti *Incremental Conductance (IC)*, *Perturb and Observe (P&O)*, *Open Voltage*, *Fixed duty cycle* [5]. *Fuzzy logic* digunakan secara luas karena memiliki sedikit kerumitan dan implementasinya yang sederhana, akibatnya beberapa kelemahan muncul seperti osilasi di sekitar MPP dan penyimpangan pada berbagai kondisi lingkungan[6], [7].

Penelitian ini bertujuan untuk mengatasi masalah efisiensi output dari panel surya yang kurang optimal, dengan tujuan untuk mencapai daya output yang lebih maksimal dan optimal.

B. Rumusan Masalah

Berdasarkan uraian latar belakang yang telah dipaparkan, adapun beberapa rumusan masalah yang dibuat melakukan penelitian sebagai berikut :

1. Bagaimana merancang dan membangun *cuk converter* dapat bekerja sebagai kendali baterai *fuzzy logic control*?
2. Bagaimana perbandingan keluaran tegangan dari *cuk converter* menggunakan metode *fuzzy logic control* dan tidak menggunakan metode *fuzzy logic control* ?.

C. Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah

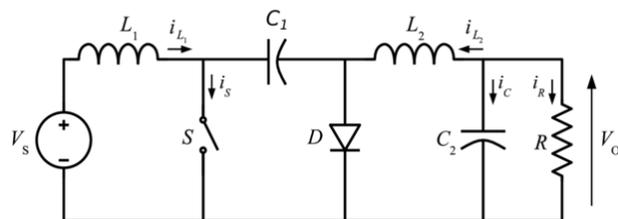
1. Merancang dan membangun *cuk converter* dengan menggunakan metode *fuzzy logic control* sebagai kendali baterai.
2. Mengetahui *output* tegangan maksimal dari *Cuk konverter* dengan menggunakan metode *fuzzy logic control* dan tidak menggunakan metode *fuzzy logic control*.

II. KAJIAN PUSTAKA

A. Cuk converter

Cuk converter adalah *dc to dc converter* yang dapat mengubah nilai tegangan menaik dan menurunkan. *Cuk converter* memiliki kelebihan yaitu arus yang kontinu pada dua masukan dan keluaran dari konverter itu sendiri, seperti halnya konverter dengan topologi *converter buck-boost*. *Output* dari konverter ini bersifat *inverting* yaitu mempunyai polaritas yang berbanding terbalik dengan *input*-annya[8].

Pada rangkaian *cuk converter* terdapat dua kapasitor dan dua induktor, *cuk converter* menggunakan kapasitor sebagai penyimpan energi menyebabkan arus menjadi kontinu dan induktor sebagai transfer energi dan filter untuk mencegah harmonisa yang besar [9], [10]. *Output* tegangan dari konverter ini dikendalikan dengan *switching* dari MOSFET dan pada rangkaian terdapat sebuah diode.



Gambar 1. Rangkaian *Cuk Converter*

B. Panel Surya

Panel surya menggunakan bahan semikonduktor yang memiliki kemampuan untuk menyerap radiasi dan energi panas dari matahari, dan mengubahnya menjadi arus listrik DC. Panel surya terdiri dari sambungan semikonduktor tipe p-n yang berfungsi seperti diode. Ketika permukaan sel surya terkena sinar matahari, energi dari sinar matahari tersebut akan diserap oleh sel surya. Hal ini menyebabkan aliran elektron yang disebut sebagai arus listrik terbentuk.

Berikut beberapa jenis panel surya berdasarkan penyusunannya yaitu :

1. *Monokristal (Mono-Crystalline)* merupakan sel surya yang paling efisien, dihasilkan dengan teknologi terkini dan menghasilkan daya listrik persatuan luas yang paling tinggi.
2. *Polikristal (Poly-Crystalline)* merupakan sel surya yang memiliki susunan kristal acak karena dipabrikasi dengan proses pengecoran.
3. *Thin Film Photovoltaic* merupakan panel surya (*dua lapis*) dengan struktur lapisan tipis mikrokrystal-silicon dan amorphous dengan efisiensi modul hingga 8,5% sehingga untuk luas permukaan yang diperlukan per watt daya yang dihasilkan lebih besar.

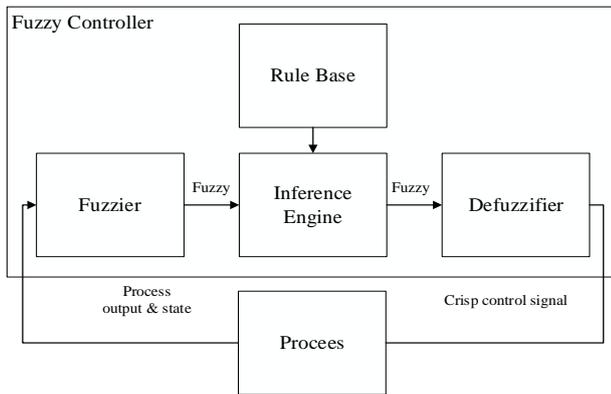


Gambar 2. Jenis Bahan Panel Surya

C. Fuzzy Logic

Fuzzy Logic Control (FLC) adalah metode kontrol yang berdasarkan logika fuzzy dan mempertimbangkan keabuan (*fuzziness*) dari suatu kondisi. Proses FLC meliputi fuzzifikasi (mengubah variabel masukan menjadi variabel fuzzy), pembentukan aturan (membuat aturan fuzzy berdasarkan pengetahuan manusia) [11].

Inferensi (mengaplikasikan aturan fuzzy pada variabel masukan fuzzy), kombinasi aturan (menggabungkan hasil aturan fuzzy yang aktif), dan defuzzifikasi (mengkonversi variabel keluaran fuzzy menjadi nilai crisp). *Fuzzy logic control* memungkinkan pengambilan keputusan yang adaptif dan telah digunakan dalam berbagai bidang aplikasi[12].



Gambar 3. Fuzzy Controller

Fuzzifikasi melibatkan mengubah nilai input dari nilai yang tegas (crisp) menjadi variabel linguistik (fuzzy). Dalam metode logika fuzzy yang digunakan dalam penelitian ini, input yang digunakan adalah kesalahan $E(k)$ dan perubahan kesalahan ΔE . Kurva segitiga, kurva bahu kanan, dan kurva bahu kiri digunakan dalam penelitian ini karena memiliki lima nilai linguistik dan mempermudah penentuan fungsi keanggotaan. FLC dalam penelitian ini memiliki dua input, yaitu error $E(k)$ yang digambarkan sebagai garis yang melintasi kurva P-V, dan delta error ΔE yang mengindikasikan perubahan error [13].

$$E(k) = \frac{\Delta P}{\Delta V} = \frac{P(k) - P(k-1)}{V(k) - V(k-1)}$$

$$\Delta E = E(k) - E(k-1)$$

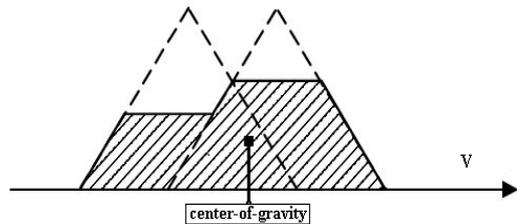
Keterangan :

- $E(k)$: Nilai error
- ΔE : Nilai Perubahan error
- ΔP : Selisih nilai daya waktu pertama dan waktu sebelumnya
- $P(k)$: Nilai daya waktu pertama
- $P(k-1)$: Nilai daya waktu sebelumnya
- ΔV : Selisih nilai tegangan waktu pertama dan periode sebelumnya
- $V(k)$: Nilai tegangan waktu pertama
- $V(k-1)$: Nilai tegangan waktu sebelumnya

Defuzzifikasi adalah langkah terakhir dalam sistem logika fuzzy yang melibatkan konversi nilai fuzzy menjadi nilai tegas (crisp) yang dapat digunakan. Metode *centroid* atau *center of gravity* (COG) digunakan dalam perhitungan output dari logika fuzzy untuk menentukan nilai *duty cycle* (D) [13]. Metode ini dipilih karena cepat dan sederhana dalam implementasinya

$$COG = \frac{\int \mu_x(z)zdz}{\int \mu_x(z)dz}$$

$$COG = \frac{\sum y\mu_R(y)}{\sum \mu_R(y)}$$



Gambar 4. Grafik metode *center of gravity* atau *centroid*

D. Mikrokontroler Arduino Atmega 2560

Arduino Mega 2560 adalah sebuah mikrokontroler yang termasuk dalam keluarga Arduino. Pada papan rangkaian mikrokontroler ini, digunakan chip ATmega 2560. Arduino Mega 2560 adalah sebuah papan mikrokontroler yang menggunakan dasar dari ATmega2560. Arduino Mega memiliki 54 input/output digital, dengan 14 di antaranya berfungsi sebagai output PWM (Pulse Width Modulation) dan 16 sebagai input. Selain itu, terdapat juga 4 pin untuk komunikasi UART, osilator kristal dengan frekuensi 16 MHz, konektor USB, power jack, header ICSP, dan tombol reset. Bahasa pemrograman yang digunakan untuk Arduino adalah bahasa C yang dikustomisasi untuk Arduino dan dilengkapi dengan perpustakaan (library) yang disediakan oleh Arduino itu sendiri.



Gambar 5. Arduino Mega 2560

E. Sensor Arus Module ACS712

Sensor ACS712, juga dikenal sebagai sensor hall effect current, digunakan untuk mendeteksi dan membaca arus AC atau DC dengan presisi tinggi. Sensor ini sering digunakan dalam industri, otomotif, komersial, dan sistem komunikasi. Saat arus melewati sensor, nilai tegangan pada output berubah dan dikirim kembali ke kontroler. Mikrokontroler memproses nilai tersebut untuk mendapatkan pembacaan arus yang sebenarnya. Dengan sensor ACS712, pengguna dapat memperoleh pembacaan arus yang akurat dan handal.



Gambar 6. Sensor arus module ACS712

F. *Sensor Tegangan*

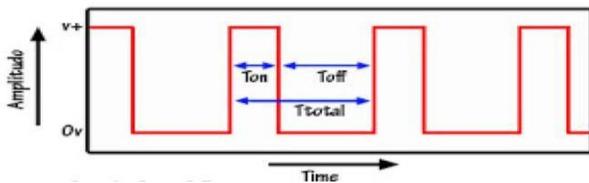
Sensor tegangan mendeteksi tegangan dalam suatu rangkaian dengan menggunakan resistansi. Nilai output tegangan sensor dikirimkan kembali ke kontroler dan diproses oleh mikrokontroler untuk mendapatkan nilai tegangan yang sebenarnya. Modul tegangan ini dapat mendeteksi tegangan dari 0-25 volt dengan tegangan Vcc 5 volt.



Gambar 7. Sensor tegangan DC

G. *Pulse Width Modulation (PWM)*

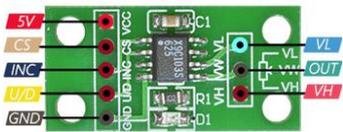
Pulse Width Modulation (PWM) adalah sebuah cara untuk memanipulasi lebar sinyal yang dinyatakan dengan pulsa dalam suatu periode, untuk mendapatkan nilai rata-rata tegangan yang berbeda. Secara umum sinyal PWM memiliki amplitudo dan frekuensi dasar yang tetap, akan tetapi memiliki lebar pulsa yang bervariasi.



Gambar 8. *Pulse Width Modulation (PWM)*

H. *X9C103S Digital Potentiometer*

X9C103S Digital Potentiometer adalah komponen elektronik yang berfungsi sebagai pengganti potensiometer konvensional. Potensiometer ini dapat diatur secara digital melalui sinyal kontrol dan memiliki resolusi 10-bit. Ia menggunakan antarmuka serial, seperti I2C, untuk pengaturan. X9C103S memiliki rentang resistansi yang bervariasi tergantung versi yang digunakan dan dilengkapi dengan memori non-volatile. Potensiometer ini digunakan dalam berbagai aplikasi elektronik.



Gambar 9. X9C103S *digital potentiometer*

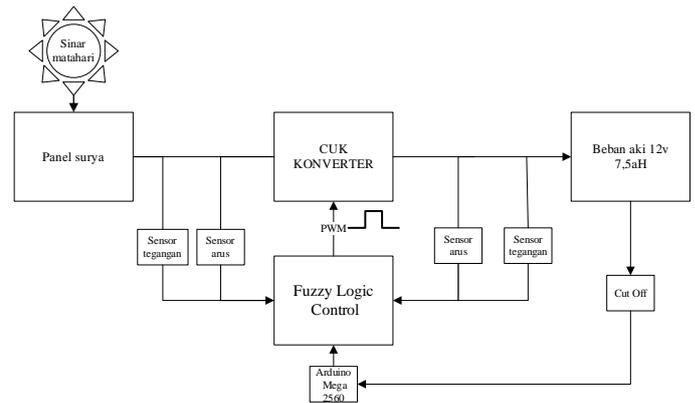
III. METODOLOGI PENELITIAN

Pada bagian ini akan membahas mengenai perancangan alat mulai dari perancangan *software* dan perancangan *hardware* secara keseluruhan dimulai dari *cuk converter* dan sistem kontrol dari alat ini.

A. *Singkatan dan Akronim*

Dalam penelitian ini, sistem elektronika daya yang digunakan adalah sistem konverter cuk yang berfungsi untuk mengatur stabilisasi output dari panel surya dengan menggunakan metode kendali logika fuzzy. Daya fotovoltaik (PV) yang digunakan adalah 50 watt peak (WP).

B. *Blok Diagram*



Gambar 10. Blok Diagram Alat

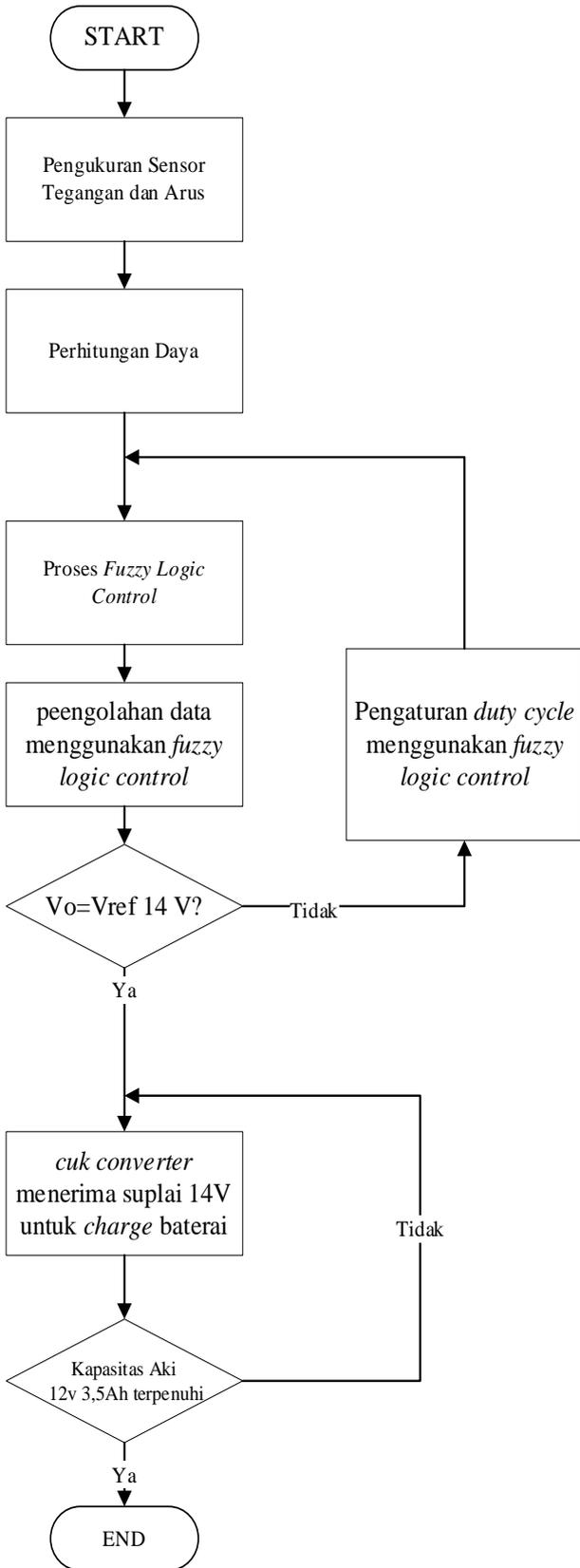
Blok diagram di atas terdiri dari beberapa komponen, yaitu panel surya, cuk converter, sensor arus, sensor tegangan, dan mikrokontroler Arduino Mega 2560 yang telah diprogram menggunakan algoritma fuzzy logic.

Prinsip kerja dari cuk converter pada solar charger berbasis Arduino menggunakan metode fuzzy logic adalah sebagai berikut. Cahaya matahari dikonversi menjadi energi listrik oleh panel surya. Panel surya menghasilkan tegangan dan arus yang masuk ke cuk converter, dan kemudian dibaca oleh sensor tegangan dan arus sebagai input untuk kontroler kendali baterai yang menggunakan metode fuzzy logic.

Hasil keluaran dari *fuzzy logic* berupa siklus tugas (*duty cycle*) yang kemudian diubah menjadi sinyal PWM (*Pulse Width Modulation*) untuk mengatur saklar MOSFET pada *cuk converter*. Di sisi keluaran juga terdapat sensor tegangan dan arus yang digunakan untuk membaca tegangan dan arus keluaran yang memeriksa apakah sudah sesuai dengan tegangan referensi 14V atau kurang. Jika tidak sesuai, maka akan diproses kembali oleh kontroler.

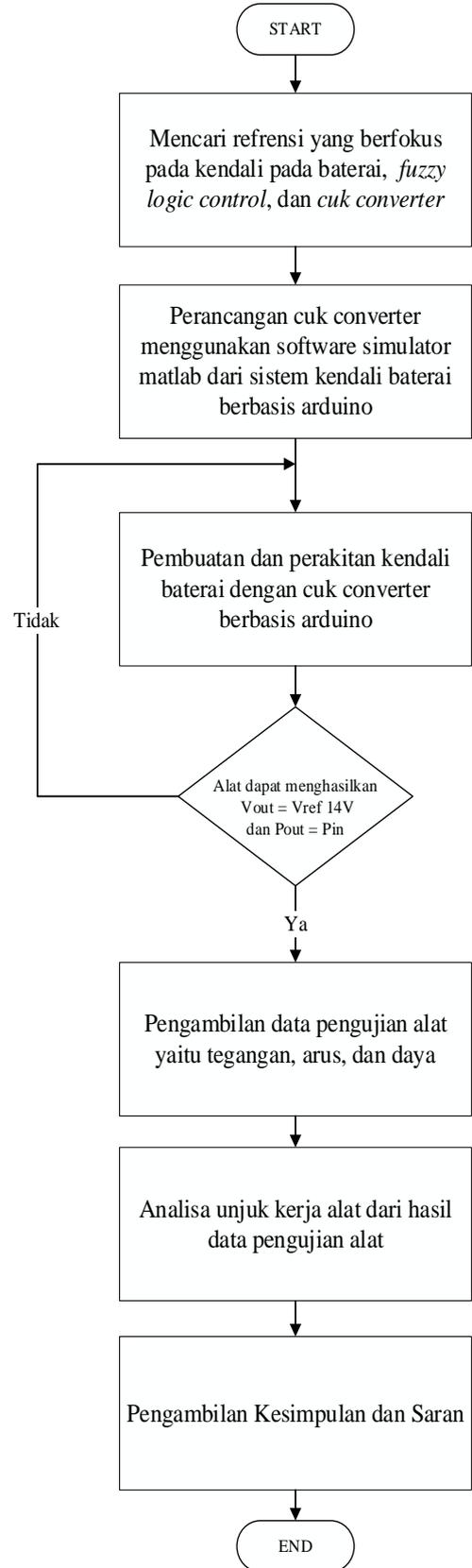
C. Perancangan Alat

1) Flowchart Cara Kerja Alat



Gambar 11. flowchart cara kerja alat

2) Flowchart Alur dan Pembuatan



Gambar 12. flowchart alur dan pembuatan

D. Perancangan Cuk Converter

Rangkaian cuk converter terdiri dari beberapa komponen umum, antara lain induktor, kapasitor, diode, resistor, dan

MOSFET. Untuk merancang konverter ini diperlukan beberapa parameter yang sesuai agar mempermudah dalam perancangannya. Spesifikasi dari cuk converter adalah sebagai berikut :

Tabel 1. Spesifikasi Cuk Converter

No	Parameter	Nilai	Satuan
1.	Tegangan Sumber (Vin)	22	Volt (V)
2.	Tegangan Output (Vout)	14,5	Volt (V)
3.	Daya Output (Pout)	50	Watt (W)
4.	Frekuensi switching (fs)	50	Kilohertz (kHz)
5.	Ripple Arus Input (λ1)	10	%
6.	Ripple Arus Output (λ2)	10	%
7.	Ripple Tegangan	1	%
8.	Induktor (L1)	754	Mikrohenry (μH)
9.	Induktor (L2)	456	Mikrohenry (μH)
10.	Kapasitor (C1)	22	Mikrofarad (μF)
11.	Kapasitor (C2)	10	Mikrofarad (μF)

1) Perhitungan Kapasitor

Pada kapasitor terdapat riak tegangan yang mengalir masuk ke C1 sebesar 5% dan riak tegangan keluar 1%. Untuk mencari nilai kapasitor C1 dan C1, dapat menggunakan rumus sebagai berikut:

$$C_1 = \frac{vin \times D}{R \times fs \times \Delta Vc1}$$

$$C_2 = \frac{1 - D}{8 \times L2 \times \frac{\Delta Vo}{Vout} \times fs^2}$$

Perhitungan sebelumnya menghasilkan nilai kapasitor (C1) sebesar 15.16 μF dan kapasitor (C2) sebesar 6.67 μF. Namun, kapasitor yang sebenarnya digunakan adalah (C1) sebesar 22 μF dan (C2) sebesar 10 μF, disesuaikan dengan ketersediaan produk di pasaran.

2) Perhitungan Induktor

Pada induktor pertama (L1) dan induktor kedua (L2), terdapat fluktuasi arus sekitar 10%. Untuk memperoleh nilai induktor pada rangkaian konverter cuk, dapat digunakan formula sebagai berikut :

$$L_1 = \frac{Vin^2 \times Vo}{\lambda \times P \times fs \times (Vo + Vin)}$$

$$L_2 = \frac{Vin \times Vo^2}{\lambda \times P \times fs \times (Vo + Vin)}$$

Setelah melakukan perhitungan, diperoleh nilai induktor (L1) sebesar 754 μH dan nilai induktor (L2) sebesar 456 μH.

3) Perhitungan Duty Cycle

Untuk menghitung nilai duty cycle dalam rangkaian konverter cuk, dapat digunakan persamaan rasio sebagai berikut:

$$\frac{Vo}{Vin} = \frac{D}{1 - D}$$

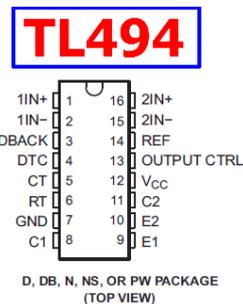
E. Penggunaan MOSFET

Dalam penelitian mengenai konverter cuk, digunakan mosfet tipe IRFP250N. Mosfet ini memiliki kapasitas arus sebesar 30A pada suhu 25°C dan 21A pada suhu 21°C, dengan nilai resistansi drain-to-source (Rds) yang rendah, yakni 0.075 ohm. Mosfet ini juga memiliki kapasitas tegangan sebesar 200V. Penggunaan mosfet ini tidak menyebabkan peningkatan suhu yang signifikan dan tidak menghasilkan kerugian daya yang besar, sehingga menjadi pilihan dalam penelitian ini.



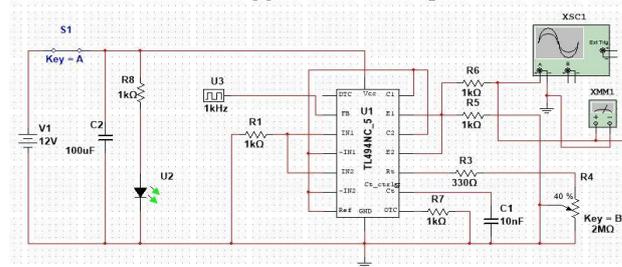
Gambar 13. Mosfet Irfp250n

F. Perancangan Driver MOSFET

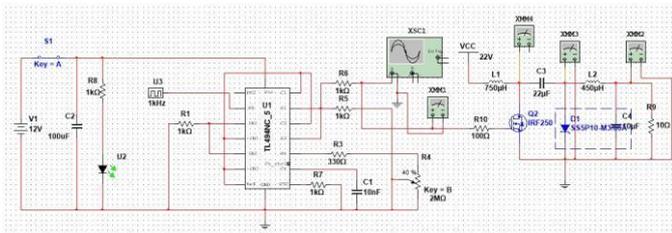


Gambar 14. Pinout Ic TL494

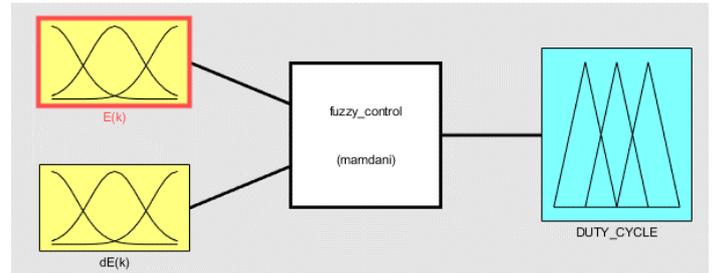
Driver MOSFET sangat diperlukan dalam rangkaian konverter untuk mengontrol gate MOSFET dan mengatur modulasi lebar pulsa (PWM). Keluaran dari konverter bergantung pada kinerja driver MOSFET. Driver MOSFET yang digunakan dalam penelitian ini menggunakan IC TL494. Hal ini dipilih karena IC tersebut dapat berfungsi baik dalam kondisi tinggi (HIGH) maupun rendah (LOW).



Gambar 15. Rangkaian Driver MosfetTL494

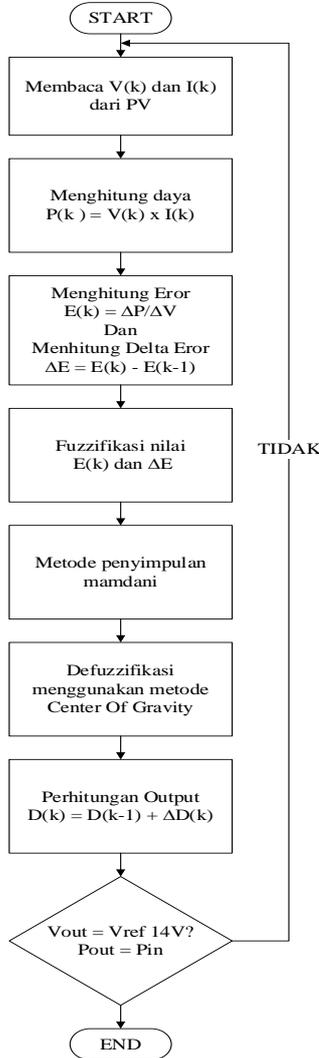


Gambar 16. Rangkaian Driver Mosfet dengan Cuk Converter



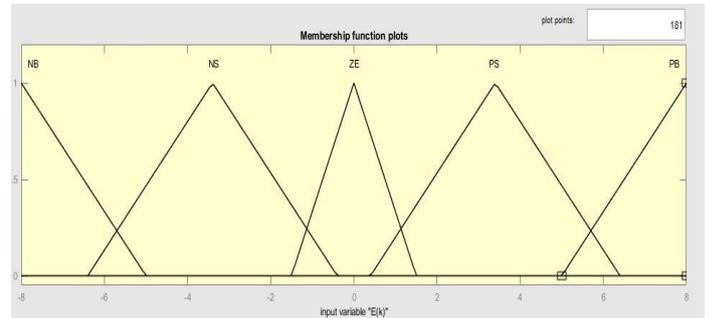
Gambar 18. Fuzzy Logic Controller pada Cuk Converter

G. Perancangan Fuzzy Logic Control

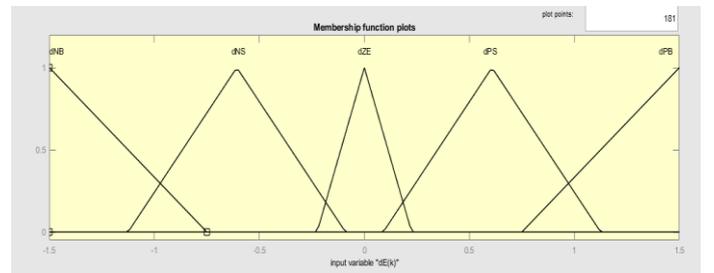


Gambar 17. Flowchart Fuzzy logic

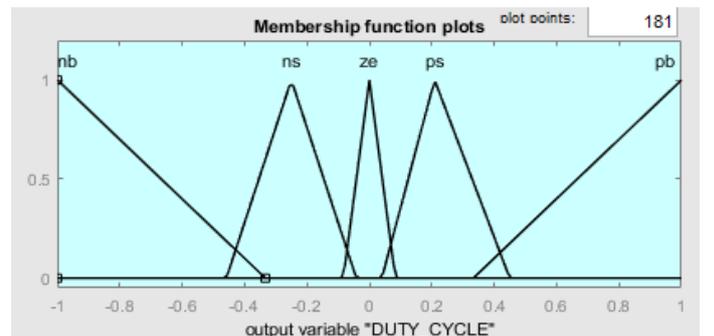
Dalam penelitian ini, perancangan metode logika fuzzy menggunakan Mamdani Fuzzy Logic Control dan metode defuzzifikasi centroid. Terdapat dua variabel input yang digunakan, yaitu error ($E(k)$) dan delta error (ΔE), dan variabel output berupa nilai *duty cycle* yang kemudian diubah menjadi sinyal PWM untuk *switching* pada MOSFET. Terdapat lima fungsi keanggotaan pada input error ($E(k)$) dan delta error (ΔE), yaitu NB (Negatif Besar), NS (Negatif Kecil), ZE (Nol), PS (Positif Kecil), dan PB (Positif Besar). Rancangan logika fuzzy dapat dilihat sebagai berikut :



Gambar 19. Input Variabel Error



Gambar 20 Input variabel Deltaerror



Gambar 21. Output Variabel DutyCycle

Setelah menetapkan fungsi keanggotaan untuk input dan output, langkah berikutnya adalah menentukan basis aturan logika fuzzy. Basis aturan ini terdapat dalam Tabel 2.

Tabel 2. Rule Base Fuzzy

$E(K)$ \ ΔE	NB	NS	ZE	PS	PB
NB	ze ¹	pbn ²	ps ³	ze ⁴	nb ⁵
NS	pb ⁶	ps ⁷	ze ⁸	ze ⁹	nb ¹⁰
ZE	pb ¹¹	ps ¹²	ze ¹³	ns ¹⁴	nb ¹⁵
PS	pb ¹⁶	ze ¹⁷	ze ¹⁸	ns ¹⁹	nb ²⁰

IV. SIMULASI DAN ANALISA

A. Pengujian sensor

1) Pengujian Sensor Arus

Dalam uji coba sensor arus untuk pengambilan data, digunakan beban lampu 50 Watt dan sumber arus berasal dari power supply DC. Hasil pengujian sensor arus diperoleh melalui lima percobaan, di mana nilai input diubah-ubah pada setiap percobaan.



Gambar 22 Pengujian sensor Arus

Dari hasil pengujian sensor arus, diperoleh nilai rata-rata sekitar 0.14% dengan perbandingan menggunakan avometer.

Tabel 3. Hasil Pengujian Sensor Arus

NO	Arus Supply (A)	Arus Pembacaan Avo (A)	Arus pembacaan sensor (A)	Error (%)
1.	0	0	0	0
2.	0.15	0.14	0.18	0.28
3.	0.25	0.25	0.28	0.12
4.	0.35	0.40	0.42	0.23
5.	0.45	0.46	0.5	0.08
Nilai rata – rata error				0.14

2) Pengujian Sensor Tegangan

Dalam pengujian sensor tegangan untuk pengambilan data, menggunakan power supply DC sebagai sumber input. Data diambil sebanyak lima kali dengan variasi nilai input.



Gambar 23 Pengujian Sensor Tegangan

Dari hasil uji coba sensor tegangan, dapat disimpulkan bahwa sensor ini memiliki nilai rata-rata kesalahan sekitar 0.13%, dengan perbandingan terhadap avometer.

Tabel 4. Hasil Pengujian Sensor Tegangan

NO	Tegangan Supply (V)	Tegangan Pembacaan Avo (V)	Tegangan pembacaan sensor (V)	Error (%)
1.	0	0	0	0
2.	5	4.98	4.96	0.04
3.	10	9.7	9.8	0.01
4.	15	14.98	14.90	0.6
5.	20	19.89	19.70	0.009
Nilai rata-rata error				0.13

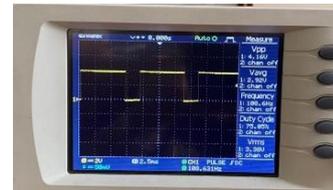
B. Pengujian driver MOSFET

Pengujian driver MOSFET dilakukan dengan tujuan menentukan kemampuan driver MOSFET dalam menghasilkan frekuensi switching pada MOSFET sesuai dengan nilai yang telah ditetapkan, yaitu 25%, 50%, dan 75%.



(a)

(b)

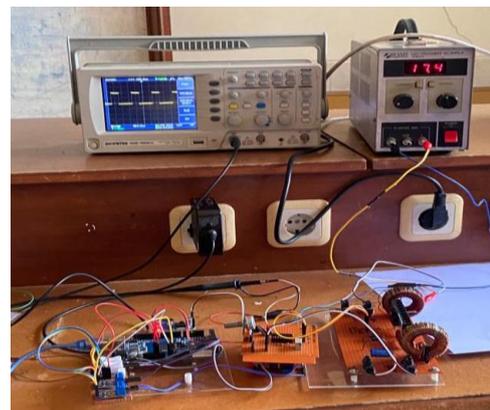


(c)

Gambar 24 Pengujian Driver Mosfet

C. Pengujian cuk converter

Dalam pengujian ini, dilakukan pengambilan data pada rangkaian konverter cuk.



Gambar 25 Pengujian Cuk Converter

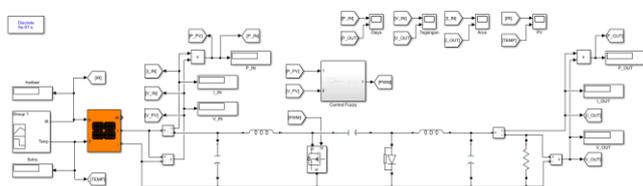
Tabel 5. Hasil Pengujian *Cuk Converter*

NO	PWM (%)	Vin (V)	Vout (V)	Teori (V)	Error (%)
1.	10	22	1.7	2.4	29
2.	25		5.4	7.3	26
3.	50		27	22	22
4.	75		40.8	66	38
5.	80		65.7	88	25
Rata-rata					28

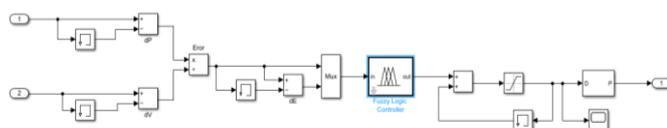
Berdasarkan hasil pengujian pada konverter cuk, diperoleh nilai rata-rata sekitar 0.28%. Dari Tabel V, dapat disimpulkan bahwa ketika nilai *duty cycle* berada di bawah 50%, terjadi penurunan tegangan pada konverter. Sebaliknya, ketika nilai *duty cycle* berada di atas 50%, terjadi kenaikan tegangan pada konverter. Hasil pengujian alat sejalan dengan prinsip kerja konverter cuk.

D. Hasil Pengujian Fuzzy Logic dengan *Cuk Converter*

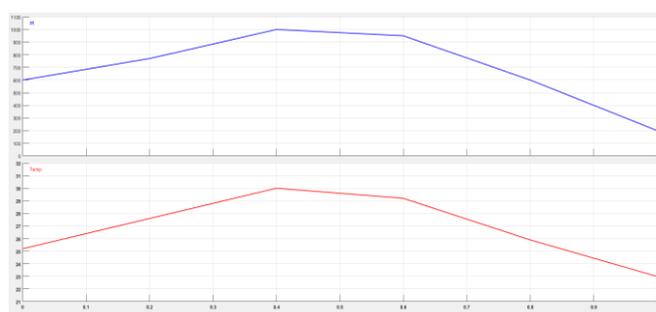
1) Hasil Simulasi Pengujian *Cuk Converter* Menggunakan Metode Fuzzy Logic



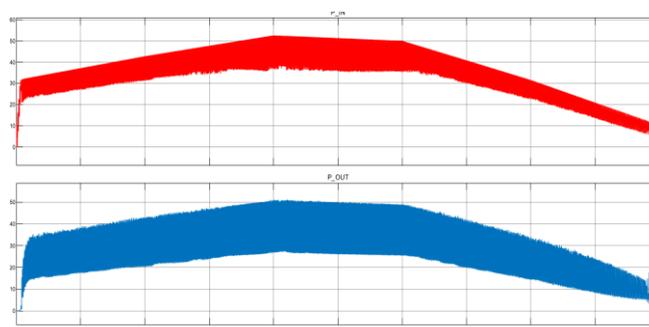
Gambar 26. Rangkaian simulasi *cuk converter*



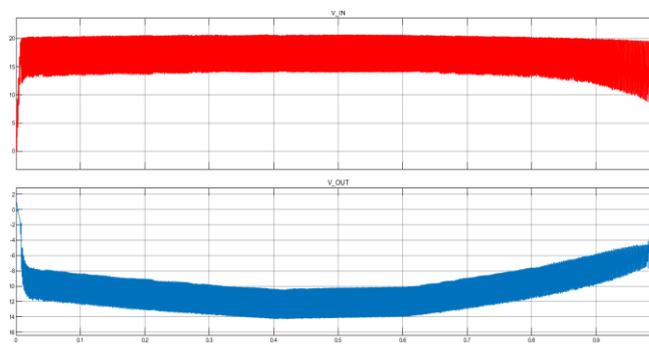
Gambar 27. Rangkaian simulasi metode *fuzzy logic* pada simulink pada matlab



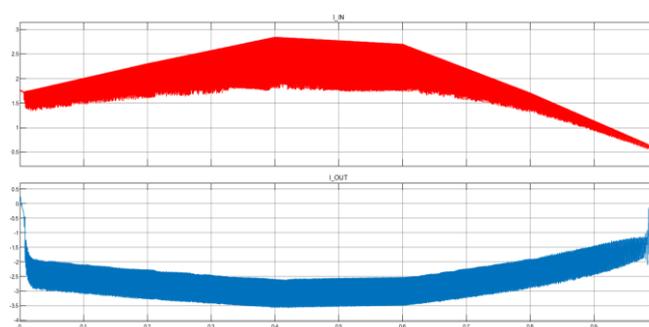
Gambar 28. Perubahan Iradiasi dan Suhu pada panel surya



Gambar 29. Perubahan daya *input* dan *output* pada panel surya



Gambar 30. Perubahan tegangan *input* dan *output* pada panel surya



Gambar 31. Perubahan arus *input* dan *output* pada panel surya

Tabel 6. Daya Input Dan Output Pada Panel Surya

N O	Time	Iradiasi (W/m ²)	Suhu (°C)	Pin (W)	Pout (W)	Vin (V)	Vout (V)	Iin (A)	Iout (A)
1.	0.1	700	26.5	30	30	21	14	1.4	2.4
2.	0.2	790	28	42	42	21	14.2	2	3.1
3.	0.3	890	28.9	47	47	21	14.4	2.2	3.2
4.	0.4	1000	30	53	51	22	14.4	2.5	3.5
5.	0.5	990	29.8	47	46	21	14.4	2.2	3.2
6.	0.6	950	29.2	43	43	21	13.2	2	3.1
7.	0.7	790	27.5	41	40	20	12.4	1.4	2.4
8.	0.8	600	25.9	31	30	20	11.6	1.5	2.5
9.	0.9	400	24.5	23	23	14	9.8	1.6	2.3
10.	1.0	200	23	15	14	12	7	1.2	2

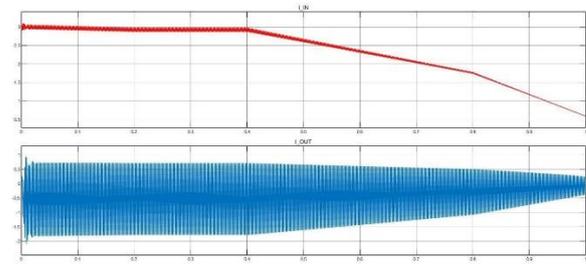
Berdasarkan Tabel 6 dapat disimpulkan bahwa tingkat iradiasi matahari dan suhu memiliki pengaruh terhadap daya keluaran dari panel surya. Melalui simulasi pengendalian baterai pada konverter cuk menggunakan

logika fuzzy dengan Simulink pada MATLAB, diperoleh rata-rata efisiensi sekitar 98.67%. Tegangan keluaran mencapai 14V, dengan arus 3.5 Ah, dan digunakan untuk mengisi daya pada aki berkapasitas 12V 7,5 Ah. Penting untuk dicatat bahwa tegangan pengisian standar aki berada dalam kisaran 13.6 hingga 14 V.

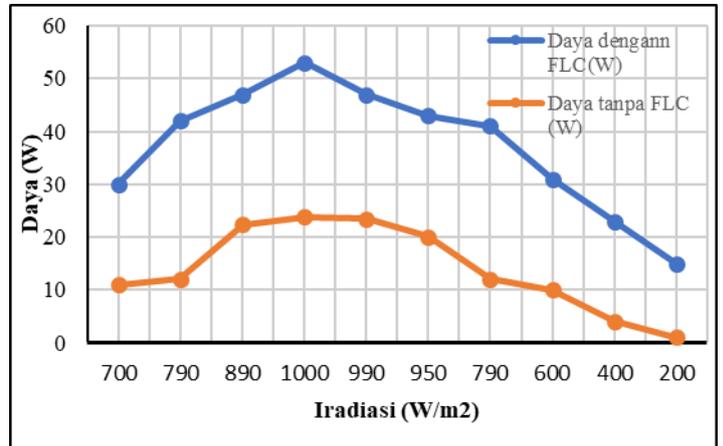
2) Hasil Simulasi Cuk Converter tanpa menggunakan Metode Fuzzy Logic

Tabel 7. Simulasi Cuk Converter Tanpa Menggunakan Fuzzy Logic Control

No	Time	Iradisi (W/m ²)	Suhu (°C)	Pin (W)	Pout (W)	Vin (V)	Vout (V)	Iin (A)	Iout (A)
1	0.1	700	26.5	30	11	21	5	1.4	2.2
2	0.2	790	28	30	12	21	6	1.4	2.0
3	0.3	890	28.9	30	22.4	21	8	1.4	2.8
4	0.4	1000	30	30	23.8	22	9.5	1.4	2.5
5	0.5	990	29.8	30	23.4	21	9	1.4	2.6
6	0.6	950	29.2	30	20	21	7.5	1.4	2.7
7	0.7	790	27.5	30	12	20	6	1.5	2.0
8	0.8	600	25.9	30	10	20	5	1.5	2.0
9	0.9	400	24.5	30	4	14	4	2.1	1.0
10	1.0	200	23	12	11	21	5	1.4	2.2



Gambar 33. Perubahan daya input dan output pada panel surya



Gambar 34. Grafik perbandingan daya menggunakan fuzzy logic control dan tanpa menggunakan fuzzy logic control

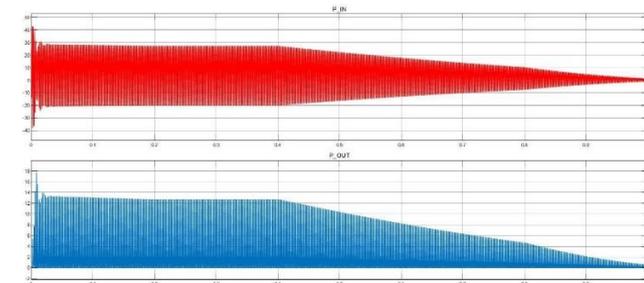
- 3) Implementasi Alat dengan Fuzzy Logic
 Implementasi prototype dengan fuzzy logic ini dilakukan dengan tujuan memeriksa hasil dari penerapan kendali baterai menggunakan konverter cuk.



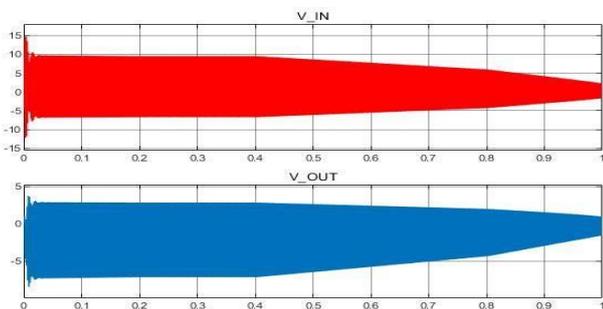
Gambar 33. Implementasi Prototype Alat

Tabel 8. Implementasi Prototype Alat

No	Time	Suhu (C)	Pin (W)	Pout (W)	Vin (V)	Vout (V)	Iin (A)	Iout (A)
1.	08.00	22	29.9	23	17.6	11.5	1.7	2
2.	09.00	25	27.4	22.1	18.3	12.3	1.5	1.8



Gambar 33. Perubahan daya input dan output pada panel surya



Gambar 33. Perubahan daya input dan output pada panel surya

3.	10.00	26	29.4	22.4	18.4	13.2	1.6	1.7
4.	11.00	27	33.6	22.7	18.7	13.4	1.8	1.7
5.	12.00	28	31.3	23.9	19.6	14.1	1.6	1.7
6.	13.00	26	29.2	22.7	19.5	14.2	1.5	1.6
7.	14.00	25	31.7	24.3	18.7	14.3	1.7	1.7
8.	15.00	24	21.8	18	18.2	13.9	1.2	1.3
9.	16.00	23	14.7	10.6	9.8	8.2	1.5	1.3
10.	17.00	23	7.4	4.	5.7	3.1	1.3	1.3

Berdasarkan data dalam Tabel 8, dapat diambil kesimpulan bahwa suhu lingkungan berdampak pada keluaran dari panel surya. Alat ini mencapai efisiensi rata-rata sekitar 78.55% dan menghasilkan daya puncak sebesar 24.3 Watt. Tegangan tertinggi yang dihasilkan mencapai 14.3V, dengan arus tertinggi mencapai 2A.

V. KESIMPULAN

A. Kesimpulan

Sistem kendali baterai berbasis logika fuzzy (FLC) digunakan untuk mengoptimalkan keluaran sel surya dengan efisiensi maksimum 98.67%. Desain ini menghasilkan daya puncak 51 Watt dengan tegangan 14V dan arus 3.5A, sesuai dengan spesifikasi beban aki 12V 3.5Ah. Namun, saat diimplementasikan, efisiensinya turun menjadi 78.55%, menghasilkan daya maksimum 24.3 Watt dengan tegangan tertinggi 14.3V dan arus tertinggi 2A.

Fluktuasi pada output panel surya disebabkan oleh perubahan iradiasi dan suhu permukaan PV. Desain ini mampu bekerja optimal dengan efisiensi 98.67%, tetapi implementasi pada alat menunjukkan efisiensi 78.55%. Ada ruang untuk meningkatkan kinerja sistem dengan mengatasi resistansi konduktor, rugi-rugi daya, kerugian switching, kerugian konversi, kerugian komponen pasif, dan pemilihan komponen yang belum optimal

VI. DAFTAR PUSTAKA

- [1] I. Rahardjo Dan I. Fitriana, "Analisis Potensi Pembangkit Listrik Tenaga Surya Di Indonesia.", pp.43-52.
- [2] B. H. Purwoto, J. Jatmiko, M. A. Fadilah, Dan I. F. Huda, "Efisiensi Penggunaan Panel Surya Sebagai Sumber Energi Alternatif," *Emitor: Jurnal Teknik Elektro*, Vol. 18, No. 1, Hlm. 10–14, Mar 2018, doi: 10.23917/Emitor.V18i01.6251.
- [3] S. Rakshit Dan J. Maity, "Fuzzy Logic Controlled Cuk Converter," Dalam *2018 International Conference On Communication And Signal Processing (Iccsp)*, Chennai: Ieee, Apr 2018, Hlm. 771–775. doi: 10.1109/Iccsp.2018.8524168.
- [4] E. Hendawi, M. M. Salem, Dan Y. Atia, "Design And Control Of Cuk Converter And Modified Ic Mppt Technique For Off-Grid Pv Systems," 2016. [Daring]. Tersedia Pada: [Http://www.ripublication.com](http://www.ripublication.com)

- [5] S. Mekhilef, "Comparison Study Of Maximum Power Point Tracker Techniques For Pv Systems." [Daring]. Tersedia Pada: <https://www.researchgate.net/publication/23373078>
- [6] B. K. Panigrahi Dan P. R. Thakura, "Implementation Of Cuk Converter With Mppt," Dalam *2017 Third International Conference On Advances In Electrical, Electronics, Information, Communication And Bio-Informatics (Aeeicb)*, Feb 2017, Hlm. 105–110. Doi: 10.1109/Aeeicb.2017.7972392.
- [7] O. Vandra Dewi, "Rancang Bangun Maximum Power Point Tracking (Mppt) Dengan Cuk Converter Menggunakan Metode Fuzzy Logic Berbasis Arduino Pada Plts Skala Kecil," Institut Teknologi Nasional Malang, 2022. [Daring]. Tersedia Pada: <https://eprints.itn.ac.id/9213/>
- [8] M. H. Rashid, *Power Electronics Handbook: Devices, Circuits, And Applications*, 3rd Ed. Burlington, Ma: Butterworth-Heinemann, 2011.
- [9] A. I. Pressman, K. H. Billings, Dan T. Morey, *Switching Power Supply Design*, 3rd Ed. New York: Mcgraw-Hill, 2009.
- [10] N. Mohan, T. M. Undeland, Dan W. P. Robbins, *Power Electronics: Converters, Applications, And Design*, 2nd Ed. New York: Wiley, 1995.
- [11] J. M. Mendel, "Fuzzy Logic Systems For Engineering: A Fitorial".
- [12] G. K. Rizqofani, D. Dewatama, Dan M. Fauziyah, "Desain Dan Implementasi Solar Charging Controller Dengan Topologi Cuk Converter Menggunakan Kontrol Logika Fuzzy," *Tesla: Jurnal Teknik Elektro*, Vol. 24, No. 1, Hlm. 36, Apr 2022, doi: 10.24912/Tesla.V24i1.16950.
- [13] K. K. Rout, D. P. Mishra, S. Mishra, G. T. Rishitha, Dan S. R. Salkuti, "Application Of Fuzzy Logic Technique To Track Maximum Power Point In Photovoltaic Systems," *Indonesian Journal Of Electrical Engineering And Computer Science*, Vol. 29, No. 1, Hlm. 101–109, Jan 2023, doi: 10.11591/Ijeecs.V29.I1.Pp101-109.

VII. BIODATA PENULIS

Rachamd Albi Igam, lahir di Kediri tahun 1999, lulusan dari SMN 8 Kota Kediri, mahasiswa Institut Teknologi Nasional Malang, mengambil jurusan Teknik Elektri S-1 konsentrasi energi listrik pada 2018, Anggota Himpunan Elektro S1 ITN tahun 2019-2022 dan anggota dari Lab. Sistem Pengukuran dan Instrumentasi.