

Rancang Bangun Maximum Power Point Tracking (MPPT) Dengan Cuk Converter Menggunakan Metode Fuzzy Logic Berbasis Arduino Pada PLTS Skala Kecil

¹Olivia Vandra Dewi, ²Abraham Lomi, ³Awan Uji Krismanto
Institut Teknologi Nasional, Kota, Negara

¹oliviavandra@gmail.com, ²abraham@lecturer.itn.ac.id, ³awan_krismanto@fti.itn.ac.id

Abstrak— Di Indonesia masih menggunakan bahan bakar fosil yang merupakan sumber energi tidak terbarukan dan akan habis jika digunakan secara terus menerus, dan juga menyumbangkan polusi udara dalam jumlah banyak. Negara Indonesia memiliki sumber energi matahari yang berlimpah sehingga cocok untuk membangun PLTS (Pembangkit Listrik Tenaga Surya), akan tetapi output yang dihasilkan panel surya memiliki efisiensi yang rendah yang dipengaruhi iradiasi matahari dan suhu lingkungan. Maximum Power Point Tracking (MPPT) dapat membantu dan berguna, karena dapat melacak nilai MPP dan cuk converter dapat menstabilkan dan mengontrol keluaran dari panel surya. Metode yang digunakan untuk MPPT yaitu fuzzy logic. Fuzzy logic banyak digunakan karena memiliki parameter yang bervariasi sehingga dapat ditentukan tanpa akurasi dan cocok beroperasi pada sistem non linier. Penelitian ini merancang menggunakan software matlab untuk melihat apakah mppt menggunakan metode fuzzy logic dengan cuk converter dapat bekerja dengan baik. Efisiensi daya rata-rata yang dihasilkan MPPT pada simulasi mencapai 14V dan 3.5A. Pada implementasi alat efisiensi daya rata-rata sebesar 78.55% dan tegangan tertinggi yang dihasilkan 14.3V dan arus tertinggi yang dihasilkan sebesar 2A.

Kata Kunci— MPPT, DC-DC Converter, Cuk Converter, Fuzzy Logic, PLTS.

I. PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Di Indonesia masih sering digunakan bahan bakar fosil sebagai pembangkit listrik, fosil merupakan bahan bakar tidak terbarukan dikarenakan bahan bakar ini akan habis jika digunakan secara terus menerus. Tidak hanya akan habis, bahan bakar fosil menyumbangkan polusi udara dengan jumlah banyak. Berdasarkan permasalahan tersebut maka diperlukan pembangkit listrik yang terbarukan dan ramah lingkungan sebagai pengganti bahan bakar fosil atau bahan bakar tidak terbarukan. Energi terbarukan juga dapat mengurangi anggaran untuk perawatan. Indonesia sendiri merupakan negara yang memiliki iklim tropis karena terletak di garis khatulistiwa, dimana membuat Indonesia ini memiliki sumber energi matahari yang banyak dan memiliki intensitas iradiasi matahari dengan nilai rata – rata 4,8 kWh/m² di seluruh wilayah Indonesia [1]. Dengan banyaknya sumber energi matahari dapat dimanfaatkan dengan sangat baik untuk

membangun Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS). Panel surya (solar panel) merupakan jenis pembangkit tenaga listrik energi terbarukan, akan tetapi masih banyak kekurangan pada panel surya terutama dalam efisiensi output yang terbilang kurang. Ada beberapa faktor yang dapat mempengaruhi daya listrik dari panel surya yaitu perubahan iklim seperti peningkatan atau penurunan suhu lingkungan dan besar intensitas cahaya.

Efisiensi output yang kurang disebabkan letak maximum power point (MPP) yang belum diketahui. Sel surya memiliki karakteristik tegangan (V) dan arus (I) yang tidak linier dan dapat berubah terhadap iradiasi dan suhu permukaan pada solar sel [2]. Untuk mendapatkan nilai MPP yang maksimal dibutuhkan maximum power point tracking (MPPT). Maximum power point tracking (MPPT) ini alat yang sangat membantu dan berguna untuk melacak nilai MPP dikarenakan dapat mengekstrasi daya maksimal pada beban [3].

Dc to dc converter sangat berperan penting untuk menstabilkan dan mengontrol tegangan dalam pengisian beban aki dari panel surya agar lebih efisien, maksimal dan tidak merusak beban aki [4]. Pada penelitian ini menggunakan rangkaian jenis cuk converter. Pada dasarnya cuk converter sama dengan buck-boost converter akan tetapi buck-boost converter menggunakan induktor sebagai transfer energi, sedangkan cuk converter menggunakan kapasitor sebagai transfer energi. Sehingga cuk converter dapat mengurangi ripple pada output panel surya dan mendapatkannilai yang maksimal. [5].

Metode yang digunakan untuk mencari MPP ada bermacam – macam seperti metode *Peturb and Observe* (P&O), *Incremental Conductance* (IC), *Open Voltage*, *Fixed Duty Cycle*, *Temperature Methods*, *Fuzzy Logic* [6]. Salah satunya yaitu metode *fuzzy logic*, metode ini banyak digunakan untuk penelitian karena memiliki parameter yang dapat ditentukan tanpa akurasi dan dapat beroperasi pada sistem yang tidak linier [7]. Pada penelitian ini diterapkan untuk mengatasi efisiensi output dari panel surya yang kurang baik dan mendapatkan daya output yang lebih optimal dan maksimal.

B. Rumusan Masalah

Adapun beberapa rumusan masalah yang dibuat dalam melakukan penelitian sebagai berikut:

1. Bagaimana mendapatkan daya optimal dan maksimal dari *maximum power point tracking* (MPPT) dengan *cuk converter*?
2. Bagaimana mendesain sistem kendali *maximum power point tracking* (MPPT) menggunakan metode *fuzzy logic* dengan *cuk converter* untuk mendapatkan daya optimal dan maksimal?
3. Bagaimana menganalisa unuk kerja dari *maximum power point tracking* (MPPT) menggunakan metode *fuzzy logic* dengan *cuk converter* untuk mendapatkan daya optimal dan maksimal?

C. Tujuan dan Manfaat

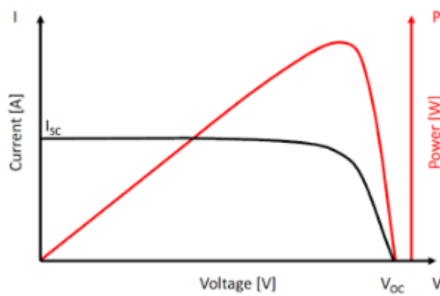
Adapun tujuan dan manfaat dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Merancang dan membangun *maximum power point tracking* (MPPT) dengan *cuk converter* menggunakan metode *fuzzy logic*.
2. Dapat mengetahui unjuk kerja dari *maximum power point tracking* (MPPT) dengan *cuk converter* dan mendapatkan nilai *ouput* tegangan dan *output* arus yang lebih stabil dan maksimal

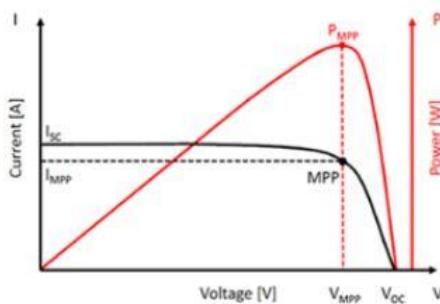
II. TINJAUAN PUSTAKA

Pada bab dua ini membahas mengenai teori penunjang dari penelitian yang akan dilakukan. Pada tinjauan pustaka akan membahas mengenai teori dan komponen apa saja yang akan digunakan sebagai berikut :

A. Maximum Power Point Tracking (MPPT)



Gambar 1 Kurva V-I dan P-V Pada Solar Panel

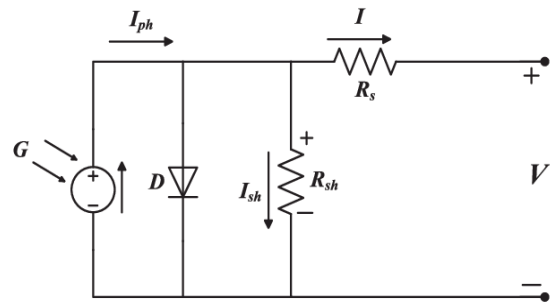


Gambar 2 Kurva V-I dan P-V Pada MPP

MPPT Adalah *controller* untuk mencari titik atau (point) maksimum dari kurva karakteristik daya dan dan tegangan *input* P-V, dan juga sebagai tegangan dan arus *input* V-I. MPPT juga berperan penting dalam mengurangi biaya sistem panel surya dan meningkatkan efisiensi keseluruhan [8]. MPPT menggunakan *controller* yang berisikan algoritma sebagai pengatur nilai *duty cycle*.

B. Panel Surya

Panel surya terdiri dari bahan semikonduktor sehingga mengalami fenomena *photoelectric* di lapisan semikonduktor yang mampu menyerap iradiasi dan suhu energi dari matahari dan merubah menjadi arus listrik DC [9]. Panel surya terdiri dari sambungan bahan semikonduktor bertipe p-n yang berfungsi seperti diode.



Gambar 3 Rangkaian ekuivalen pada solar panel.

Persamaan arus dioda sebagai berikut:

$$I_D = I_o [\exp (q (V + I R_s)/KT)) - 1]$$

Sedangkan, arus *output* (I_{pv}) pada panel surya yaitu:

$$I = I_L - I_D - I_{sh}$$

$$I = I_L - I_o [\exp (q (V + I R_s)/KT)) - 1] - ((V + I R_s)/R_{sh})$$

Dimana:

I : Arus panel surya (A)

I_L : Arus yang dihasilkan cahaya (A)

I_o : Arus saturasi dioda (A)

q : Muatan elektron (1.6×10^{-19} C)

K : Konstanta boltzman (1.38×10^{-23} J/K)

T : Temperatur pada solar sel

V : Tegangan *output* pada solar panel (V)

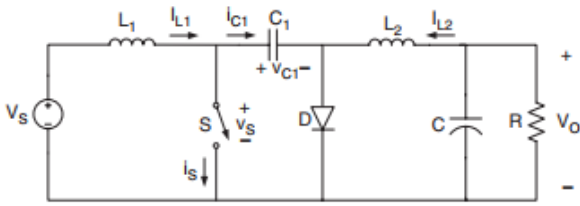
R_s : Resistansi seri solar panel (Ω)

R_{sh} : Resistansi *shunt* solar panel (Ω)

C. Cuk Converter

Cuk converter merupakan *dc to dc converter* yang dapat menghasilkan nilai output tegangan lebih tinggi ataupun lebih rendah dari nilai input tegangan seperti *buck-boost converter*. *Output* dari konverter ini bersifat inverting yaitu memiliki polaritas yang berbanding terbalik dengan *input*. Rangkaian *cuk converter* memiliki dua kapasitor dan dua induktor.

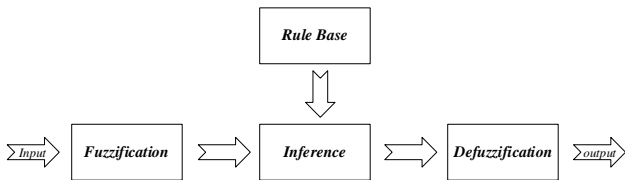
Cuk converter menggunakan kapasitor sebagai penyimpan energi. Sehingga memiliki arus yang kontiu [10]. Konverter ini memiliki *switching losses* yang rendah dan memiliki nilai efisien yang tinggi. *Output* tegangan dari *cuk converter* dapat dikendalikan atau diatur dengan *switching* dari MOSFET dan terdapat sebuah diode pada rangkaian konverter ini.



Gambar 4 Rangkaian Cuk Converter

D. Fuzzy Logic

Fuzzy logic merupakan metode untuk mengatur nilai *duty cycle* pada MPPT. Fuzzy logic dapat memahami karakteristik yang tidak linier dan lebih banyak ketahanan dibandingkan dengan pegontrol logika konvensional [11]. Hubungan *input* dan *output* dari fuzzy logic terdiri dari *fuzzification*, *inference*, *defuzzifier* dan sebuah basis aturan fuzzy (*fuzzy rule base*) dapat dilihat pada gambar 5.



Gambar 5 Blok Diagram Fuzzy Logic

Fuzzification yaitu pemetaan dari nilai *input* yang diubah dari nilai crisp menjadi variabel linguistik (*fuzzy*). *Input* dari metode fuzzy logic yang digunakan yaitu error $E(k)$ dan deltaerror ΔE . Penelitian ini menggunakan kurva segitiga, kurva bahu kanan dan kurva bahu kiri. Ketiga kurva digunakan karena memiliki lima nilai linguistik dan dapat mempermudah dalam penentuan *membership function*. FLC pada penelitian ini memiliki 2 *input* yaitu, error $E(k)$ merupakan garis yang melewati kurva P-V dan delta error ΔE merupakan perubahan error.

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

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

Keterangan :

$E(k)$: Nilai error

ΔE : Nilai perubahan dari error

ΔP : Selisih dari nilai daya periode pertama dan periode sebelumnya

$P(k)$: Nilai daya pada periode pertama

$P(k-1)$: Nilai daya pada periode sebelumnya

ΔV : Selisih dari nilai tegangan perioden pertama dan periode sebelumnya

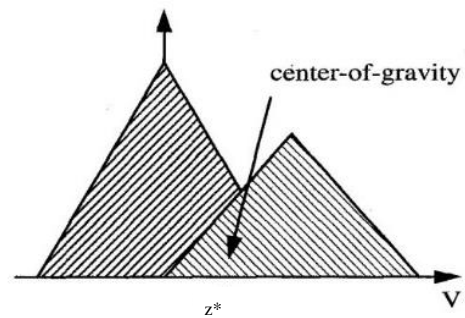
$V(k)$: Nilai tegangan pada periode pertama

$V(k-1)$: Nilai tegangan pada periode sebelumnya

Defuzzification merupakan langkah terakhir dari sistem fuzzy logic dengan mengkonversi nilai fuzzy menjadi nilai real (tajam) dan dipetakan. Metode *centroid* atau *center of gravity* (COG) digunakan untuk menghitung *output* dari fuzzy logic untuk menentukan nilai *duty cycle* (D). Metode ini digunakan karena sangat cepat dan simpel. Berikut dapat diketahui bagaimana menggunakan metode *centroid* :

$$Z^* = \frac{\int \mu_x(z)zdz}{\int \mu_x(z)dz}$$

$$Z^* = \frac{\sum y\mu_R(y)}{\sum \mu_R(y)}$$



Gambar 6 Grafik metode *center of gravity* atau *centroid*

E. Mikrokontroler Arduino Mega 2560

Arduino Mega 2560 merupakan salah satu mikrokontroler dari arduino yang didalam rangkaian boardnya berbasis ATmega 2560. Pada arduino ini semua program MPPT diisikan. Menggunakan bahasa C yang sudah disederhanakan syntax sebagai bahasa pemograman agar lebih mudah dan perancangan alat dapat berjalan sesuai. Memiliki 54 pin digital *input* dan *output* (15 sebagai *output* PWM), 16 pin digunakan *input analog*, 4 pin UART (port serial *hardware*), resonator kristal keramik 16 MHz, koneksi USB, soket adaptor, pin header ICSP, dan juga tombol reset.

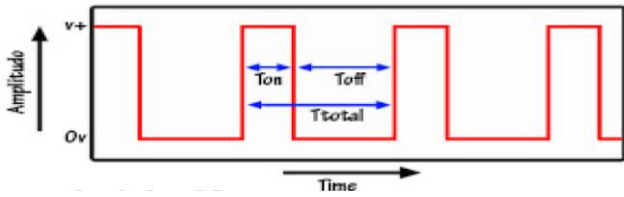


Gambar 7 Arduino Mega 2560

F. PWM (Pulse Width Modulation)

Pulse Width Modulation (PWM) adalah sebuah cara untuk memanipulasi sinyal yang ditunjukkan dengan pulsa dalam suatu periode, untuk mendapatkan nilai rata – rata tegangan yang berbeda. *Switching* yang dihasilkan dari konverter untuk

output tegangan yang bervariasi dengan cara mengatur nilai PWM. Bentuk gelombang dari sinyal PWM yaitu berupa gelombang kotak yang mempunyai t_{on} dan t_{off} dalam satu periode. Pada PWM juga terdapat perbandingan antara t_{on} dan t_{off} pada satu gelombang ($T = t_{on} + t_{off}$) yang disebut *duty cycle* (D).



Gambar 8 Sinyal PWM

G. Sensor Arus ACS712

Sensor arus yang digunakan yaitu ACS712. Sensor ini bekerja berdasarkan efek medan yaitu dapat mengubah sinyal magnetik menjadi sinyal listrik untuk pemrosesan rangkaian elektronika selanjutnya. Sensor ini memiliki banyak tipe, yaitu 5A, 20A, 30A. Sensor yang digunakan pada penelitian ini yaitu ACS712-05B dengan arus maksimal $\pm 5A$ dengan sensitivitas 185 mV/A.



Gambar 9 Sensor Arus

H. Sensor Tegangan

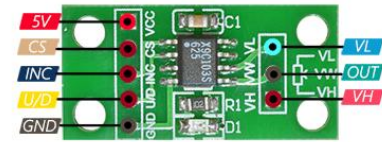
Sensor tegangan merupakan sensor yang digunakan untuk mendeteksi adanya tegangan pada suatu rangkaian dengan memanfaatkan pin analog dari arduino. Sensor ini mempunyai prinsip pada rangkaian pembagi tegangan yaitu resistor yang dirangkai secara seri dan sebuah input tegangan. Prinsip kerja dari sensor ini yaitu melakukan perbandingan antara tegangan asli dengan tegangan yang dibaca oleh arduino.



Gambar 10 Sensor Tegangan

I. X9C103S Digital Potentiometer

Digital potensiometer merupakan resistor variabel yang nilai resistansinya dapat bervariasi secara digital dari mikrokontroler.



Gambar 11 Potensio digital X9C103S

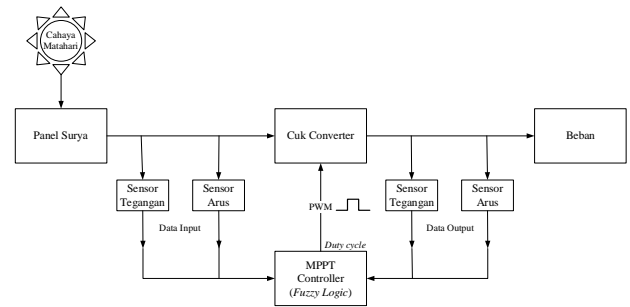
III. METODOLOGI PENELITIAN

Pada bab ini akan membahas mengenai perancangan dan pembuatan alat secara keseluruhan yang dapat dimulai dari *cuk converter* dan sistem kontrol dari alat ini.

A. Singkatan dan Akronim

Pada penelitian ini dalam sistem PV elektronika daya yang digunakan adalah sistem *cuk converter* yang berfungsi untuk menstabilkan *output* dari panel surya dengan menggunakan metode *fuzzy logic*. PV yang digunakan memiliki kapasitas 50 WP.

B. Blok Diagram



Gambar 12 Blok Diagram Alat

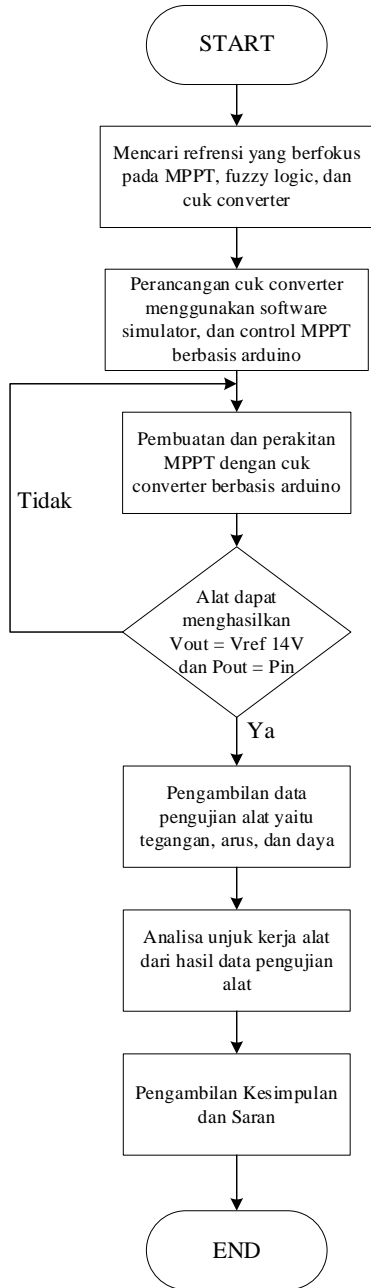
Pada blok diagram diatas terdiri dari panel surya, *cuk converter*, sensor arus, sensor tegangan, mikrokontroler Arduino Mega 2560 yang telah diprogram algoritma *fuzzy logic*.

Prinsip kerja dari *cuk converter* untuk solar charger berbasis arduino menggunakan metode *fuzzy logic*. Dapat diketahui bahwa cahaya matahari dikonversi menjadi energi listrik oleh panel surya. Panel surya menghasilkan tegangan dan arus yang masuk *cuk converter* dan akan dibaca oleh sensor tegangan dan arus sebagai *input controller* MPPT menggunakan metode *fuzzy logic*.

Output dari *fuzzy logic* berupa *duty cycle* kemudian diubah dalam bentuk sinyal PWM untuk mengatur *switching* MOSFET pada *cuk converter*. Pada sisi *output* juga terdapat sensor tegangan dan arus sebagai pembaca *output* tegangan dan arus apakah sudah sesuai dengan tegangan referensi 14V atau kurang, jika tidak maka akan kembali diproses di MPPT controller.

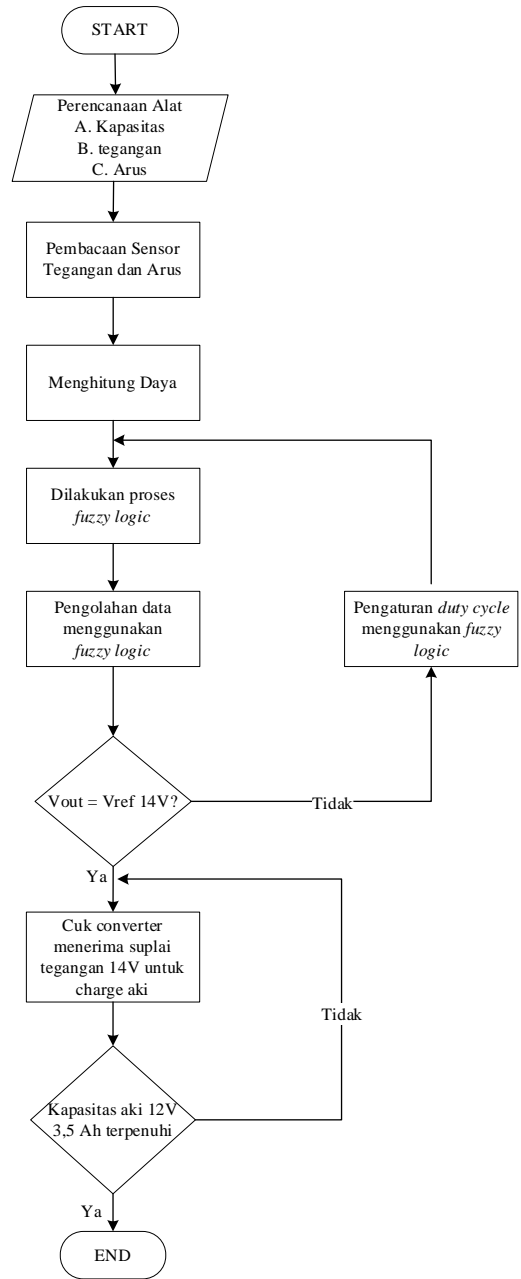
C. Flowchart

1) Flowchart Alur Dan Pembuatan



Gambar 13 Flowchart Alur dan Pembuatan Alat

2) Flowchart Cara Kerja Alat



Gambar 14 Flowchart Cara Kerja Alat

D. Perancangan Cuk Converter

Rangkaian *cuk converter* tersusun dari beberapa komponen umum diantaranya yaitu induktor, kapasitor, diode, resistor, dan mosfet. Untuk merancang konverter ini diperlukan beberapa parameter yang sesuai agar mempermudah dalam perancangannya. Spesifikasi dari *cuk converter* yaitu sebagai berikut :

TABLE I. SPESIFIKASI CUK CONVERTER

No	Parameter	Nilai	Satuan
1.	Tegangan Sumber (V_{in})	22	Volt
2.	Tegangan Output (V_{out})	14	Volt
3.	Daya Output (P_{out})	50	Watt
4.	Frekuensi switching (f_s)	50	kHz
5.	Ripple Arus Input (λ_1)	10	%
6.	Ripple Arus Output (λ_2)	10	%
7.	Ripple Tegangan	1	%
8.	Induktor (L_1)	754	μH
9.	Induktor (L_2)	456	μH
10.	Kapasitor (C_1)	22	μF
11.	Kapasitor (C_2)	10	μF

1) Perhitungan Duty Cycle

Untuk mendapatkan nilai *duty cycle* pada rangkaian *cuk converter* dapat menggunakan persamaan rasio yaitu:

$$\frac{V_o}{V_{in}} = \frac{D}{1 - D}$$

2) Perhitungan Induktor

Pada induktor satu (L_1) dan induktor dua (L_2) memiliki *ripple* arus sebesar 10%. Untuk mendapatkan nilai induktor pada rangkaian *cuk converter* dapat menggunakan rumus sebagai berikut:

$$L_1 = \frac{V_{in}^2 \times V_o}{\lambda \times P \times f_s \times (V_o + V_{in})}$$

$$L_2 = \frac{V_{in} \times V_o^2}{\lambda \times P \times f_s \times (V_o + V_{in})}$$

Setelah melakukan perhitungan nilai induktor (L_1) mendapatkan nilai 754 μH dan induktor (L_2) mendapatkan nilai 456 μH .

3) Perhitungan Induktor

Pada kapasitor terdapat *ripple* tegangan yang lewat sebesar 5%. Untuk menemukan nilai kapasitor C_1 dan C_2 dapat ditemukan menggunakan rumus sebagai berikut:

$$C_1 = \frac{V_s \times D}{R \times f_s \times \Delta V_{c1}}$$

$$C_2 = \frac{1 - D}{8 \times L_2 \times \frac{\Delta V_o}{V_o}}$$

Perhitungan diatas mendapatkan nilai kapasitor (C_1) 15.16 μF dan kapasitor (C_2) 6.67 μF . Akan tetapi kapasitor yang digunakan pada (C_1) 22 μF dan (C_2) 10 μF menyesuaikan dengan yang ada di pasaran.

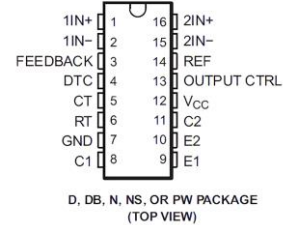
E. Pemilihan MOSFET

Pada penelitian *cuk converter* menggunakan mosfet tipe IRFP250N, mosfet ini memiliki kapasitas sebesar 30A saat suhu di 25°C dan 21A saat suhu sedang di 21°C dengan nilai R_{ds} yang rendah sebesar 0.075 ohm. Kapasitas tegangan yang dimiliki mosfet ini sebesar 200V. Mosfet ini tidak panas saat digunakan dan tidak menyebabkan losses yang besar sehingga pada penelitian ini menggunakan mosfet ini.



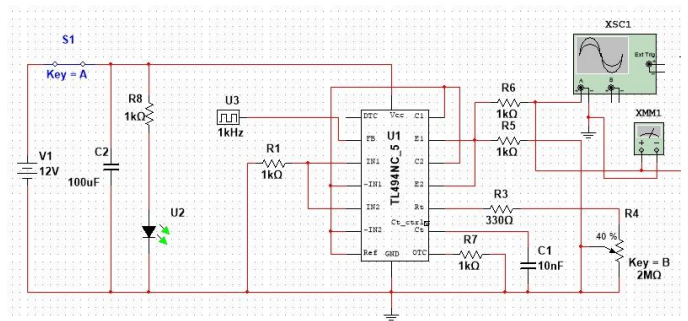
Gambar 15 Mosfet IRFP250N

F. Perancangan Driver MOSFET

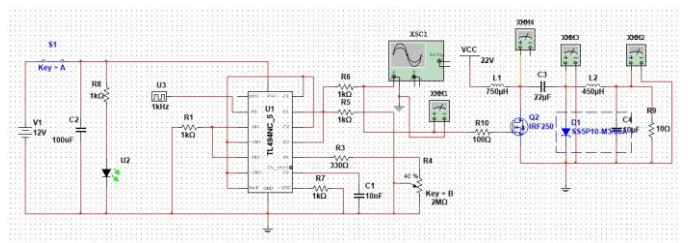


Gambar 16 Pinout Ic TL494

Driver mosfet sangat dibutuhkan dalam rangkaian konverter untuk mengendalikan gate dari mosfet untuk mengatur PWM. *Output* dari konverter tergantung dari driver MOSFET. Driver mosfet yang digunakan pada penelitian ini menggunakan IC TL494. Dikarenakan dapat digunakan sebagai dalam keadaan HIGH dan LOW.

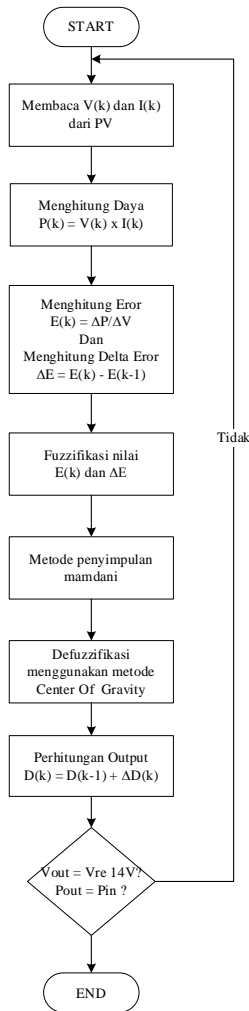


Gambar 17 Rangkaian Driver Mosfet TL494



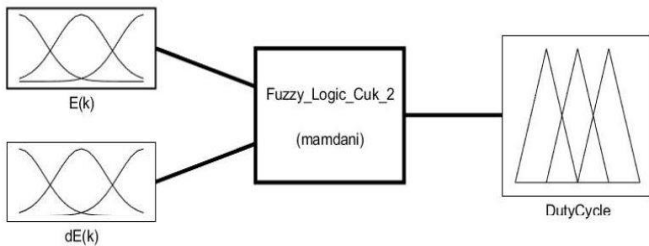
Gambar 18 Rangkaian Driver Mosfet dengan Cuk Converter

G. Perancangan Fuzzy Logic

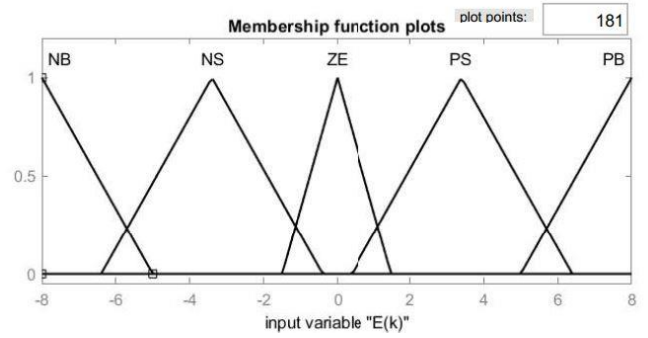


Gambar 19 Flowchart Fuzzy Logic

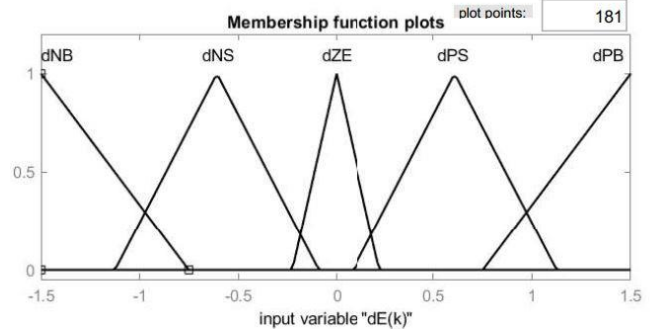
Pada penelitian ini perancangan metode *fuzzy logic* menggunakan *Mamdani Fuzzy Logic Control* dan metode defuzzifikasi *centroid*. Variabel *input* yang digunakan ada dua yaitu error ($E(k)$) dan delta error (ΔE) dan variabel *output* berupa nilai *duty cycle* yang kemudian diubah dalam bentuk PWM sebagai *switching* pada MOSFET. *Membership function* pada input error ($E(k)$) dan delta error (ΔE) ada lima yaitu NB (*Negatif Big*), NS (*Negatif Small*), ZE (*Zero*), PS (*Positif Small*), PB (*Positif Big*). Rancangan *fuzzy logic* dapat dilihat sebagai berikut :



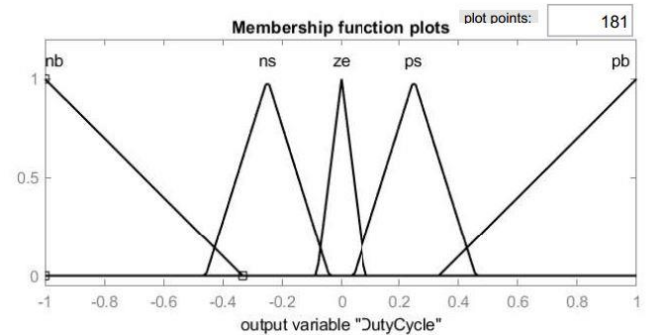
Gambar 20 Fuzzy Logic Controller Pada Cuk Converter



Gambar 21 Input Variabel Error



Gambar 22 Input Variabel Deltaerror



Gambar 23 Output Variable Duty Cycle

Setelah menentukan *Membership function input* dan *output*, maka *rule base fuzzy logic* dapat ditentukan. *Rule base* dapat dilihat pada tabel II.

TABLE II. RULE BASE FUZZY LOGIC

$E(K)$ ΔE	NB	NS	ZE	PS	PB
NB	ze ¹	pb 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
PB	pb ²¹	ze ²²	ns ²³	nb ²⁴	ze ²⁵

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Pengujian Sensor

1) Pengujian Sensor Arus

Dalam pengujian sensor arus untuk pengambilan data menggunakan beban lampu 50 Watt dan menggunakan power supply DC sebagai sumber arus. Hasil pengujian dari sensor arus dengan mengambil 5 kali percobaan dengan nilai *input* yang diubah-ubah. Berikut gambar pengujian sensor arus pada gambar 24.



Gambar 24 Pengujian sensor arus

Hasil pengujian dari sensor arus mendapatkan nilai rata-rata sebesar 0.14 % dengan perbandingan avometer.

TABLE III. 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				0.14

2) Pengujian Sensor Tegangan

Pada pengujian sensor tegangan untuk pengambilan data menggunakan power supply DC sebagai *input* dengan pengambilan data sebanyak 5 kali dengan nilai *input* yang berubah-ubah. Berikut gambar pengujian sensor tegangan pada gambar 25.



Gambar 25 Pengujian sensor tegangan

Dari hasil pengujian sensor tegangan dapat disimpulkan bahwa memiliki nilai rata-rata error sebesar 0.13% dengan perbandingan avometer.

TABLE IV. HASIL PENGUJIAN SENSOR TEGANGAN

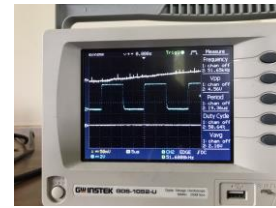
No	Tegangan Supply (V)	Tegangan Pembacaan Avo (V)	Tegangan Pembacaan Sensor (V)	Error (%)
1.	0	0	0	0
2.	5	4.98	4.96	0.04
3.	10	9.7	9.8	0.01
4.	15	14.98	14.90	0.6
5.	20	19.89	19.70	0.009
Nilai rata-rata				0.13

B. Pengujian Driver Mosfet

Pengujian driver mosfet dilakukan untuk mengetahui apakah driver mosfet dapat membangkitkan frekuensi *switching* pada mosfet sesuai dengan nilai yang ditentukan.



(a) (b)



Gambar 26 Pengujian Driver Mosfet

C. Hasil Pengujian Cuk Converter

Pada pengujian ini dilakukan untuk pengambilan data pada rangkaian cuk converter.



Gambar 27 Pengujian Cuk Converter

TABLE V. HASIL PENGUJIAN CUK CONVERTER

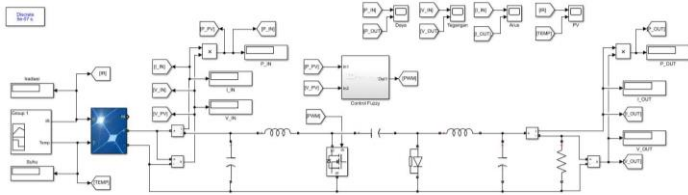
No	PWM (%)	Vin (V)	Vout (V)	Teori (V)	Eror (%)
1.	10	22	1.7	2.4	29
2.	25		5.4	7.3	26
3.	50		27	22	22
4.	75		40.8	66	38
5.	80		65.7	88	25
Rata-rata					28

Berdasarkan dari hasil pengujian *cuk converter* mendapatkan nilai rata-rata 0.28 %. pada tabel V dapat disimpulkan jika nilai *duty cycle* dibawah 50% konverter mengalami penurunan tegangan dan saat nilai *duty cycle* diatas 50% konverter mengalami kenaikan tegangan, dari hasil pengujian alat sesuai dengan prinsip kerja dari *cuk converter*.

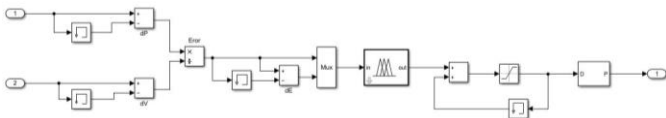
D. Hasil Pengujian Fuzzy Logic Dengan Cuk Converter

1) Simulasi hasil pengujian fuzzy logic

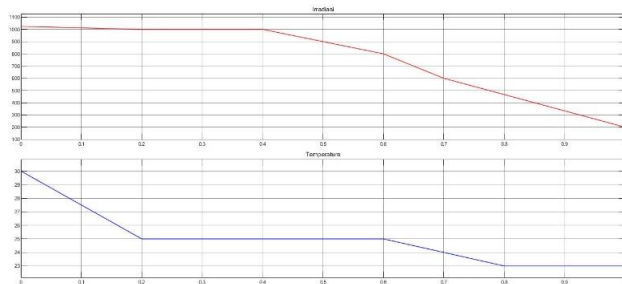
Percobaan simulasi bertujuan untuk mengetahui apakah metode *fuzzy logic* ini dapat bekerja pada rangkaian *cuk converter*. Gambar rangkaian simulasi pada *cuk converter* dapat dilihat pada gambar 28.



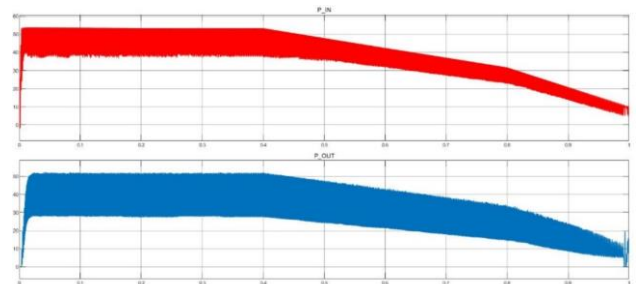
Gambar 28 Rangkaian simulasi Cuk Converter dengan metode Fuzzy Logic Simulink pada Matlab



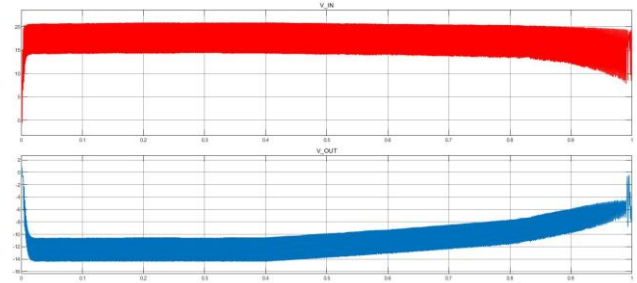
Gambar 29 Rangkaian simulasi metode fuzzy logic Simulink pada Matlab



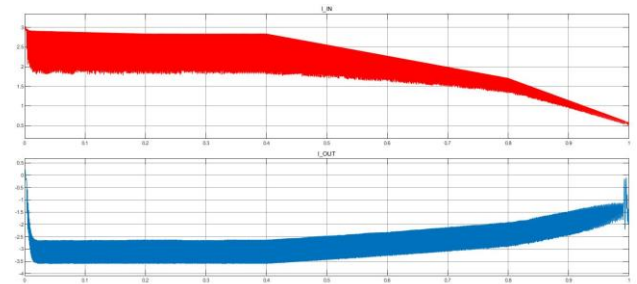
Gambar 30 Perubahan iradiasi dan suhu pada panel surya



Gambar 31 Perubahan daya input dan output pada panel surya



Gambar 32 Perubahan tegangan input dan output pada panel surya



Gambar 33 Perubahan arus input dan output pada panel surya

TABLE VI. DAYA INPUT DAN OUTPUT PADA PANEL SURYA

No	Time	Iradiasi (W/m ²)	Suhu (°C)	Pin (W)	Pout (W)	Vin (V)	Vout (V)	Iin (A)	Iout (A)
1.	0.1	1012	27	46	46	21	14.4	2.1	3.1
2.	0.2	1000	25	47	47	21	14.4	2.2	3.2
3.	0.3	1000	25	53	51	21	14.4	2.5	3.5
4.	0.4	1000	25	45	45	21	14.4	2.1	3.1
5.	0.5	900	25	47	45	21	13.8	2.2	3.2
6.	0.6	800	25	42	42	21	13.2	2	3.1
7.	0.7	700	24	30	30	21	12.4	1.4	2.4
8.	0.8	600	23	31	30	20	11.6	1.5	2.5
9.	0.9	400	23	23	23	14	9.8	1.6	2.3
10.	1.0	200	23	15	14	12	7	1.2	2

Pada tabel VI dapat disimpulkan bahwa iradiasi matahari dan suhu mempengaruhi *output* daya dari panel surya. Simulasi MPPT menggunakan *fuzzy logic* menggunakan simulink pada MATLAB memiliki rata – rata efisiensi sebesar 98.67%. Tegangan *output* mencapai 14V dan arus yang dihasilkan mencapai 3.5 Ah dengan beban yang digunakan aki 12V 5 Ah dimana pada pengisian tegangan standar 13.6 – 14 V.

2) Implementasi alat dengan fuzzy logic

Implementasi alat dengan *fuzzy logic* bertujuan untuk melihat hasil implementasi pada MPPT.



Gambar 30 Implementasi *hardware* MPPT

TABLE VII. IMPLEMENTASI ALAT

No	Time	Suhu (C)	Pin (W)	Pout (W)	Vin (V)	Vout (V)	Iin (A)	Iout (A)
1.	08.00	22	29.9	23.3	17.6	11.4	1.7	2.0
2.	09.00	26	27.4	22.5	18.3	12.3	1.5	1.8
3.	10.00	26	29.4	23.3	18.4	13.2	1.6	1.7
4.	11.00	26	33.6	23.6	18.7	13.4	1.8	1.7
5.	12.00	26	31.3	24.3	19.6	14.1	1.6	1.7
6.	13.00	26	29.2	23.9	19.5	14.2	1.5	1.6
7.	14.00	26	31.7	25.6	18.7	14.3	1.7	1.7
8.	15.00	26	21.8	18.6	18.2	13.9	1.2	1.3
9.	16.00	26	14.7	11.2	9.8	8.2	1.5	1.3
10.	17.00	26	6.1	4.1	4.7	3.1	1.3	1.3

Pada tabel VII dapat disimpulkan bahwa suhu lingkungan mempengaruhi *output* dari panel surya. Alat memiliki rata – rata efisiensi sebesar 78.55 % dan menghasilkan daya tertinggi sebesar 25.6 Watt. Tegangan tertinggi yang dihasilkan sebesar 14.3V dan arus tertinggi yang dihasilkan sebesar 2A.

V. KESIMPULAN

Maximum Power Point Tracking merupakan kontroler yang berfungsi untuk mengoptimalkan keluaran yang dihasilkan *photovoltaic*. Desain pada MPPT menghasilkan efisiensi rata-rata sebesar 98.67 %. Implementasi alat menghasilkan efisiensi rata-rata sebesar 78.55 %. *Output* dari panel surya menunjuka fluktuasi yang dipengaruhi oleh perubahan dari iradiasi dan suhu permukaan PV. Perubahan

dari *duty cycle* dalam bentuk sinyal PWM berpengaruh pada *output* dari *cuk converter*.

VI. REFERENSI

- [1] I. Rahardjo and I. Fitriana, “Analisis Potensi Pembangkit Listrik Tenaga Surya Di Indonesia,” *Anal. Potensi Pembangkit List. Tenaga Surya Indones.*, pp. 43–52.
- [2] S. UTAMI, S. SAODAH, and A. PUDIN, “Penggunaan Algoritma Incremental Conductance pada MPPT dengan Buck Converter untuk Pengujian Indoor dan Outdoor,” *ELKOMIKA J. Tek. Energi Elektr. Tek. Telekomun. Tek. Elektron.*, vol. 6, no. 1, p. 97, 2018.
- [3] B. K. Panigrahi and P. R. Thakura, “Implementation of Cuk converter with MPPT,” *Proc. 3rd IEEE Int. Conf. Adv. Electr. Electron. Information, Commun. Bio-Informatics, AEEICB 2017*, pp. 105–110, 2017, doi: 10.1109/AEEICB.2017.7972392.
- [4] A. Garg, B. Singh, and A. K. Rai, “Design & Simulation of CUK converter based MPPT control scheme for PV array using Double Diode Model,” vol. XIII, no. 6, pp. 752–757, 2021.
- [5] M. H. Rashid, *Power Electronics: Devices, Circuits and Applications (Fourth Edition)*. 2014.
- [6] H. N. Zainudin and S. Mekhilef, “Comparison Study of Maximum Power Point Tracker Techniques for PV Systems,” *Proc. 14th Int. Middle East Power Syst. Conf. (MEPCON’10)*, Cairo Univ. Egypt, no. 1, pp. 750–755, 2010.
- [7] T. Bogaraj, J. Kanagaraj, and E. Shalini, “Fuzzy Logic Based MPPT for Solar PV Applications,” vol. 2, no. 6, pp. 1566–1571, 2014.
- [8] A. M. Eltamaly and A. Y. Abdelaziz, *Modern Maximum Power Point Tracking Techniques for Photovoltaic Energy Systems*. 2012.
- [9] S. Saravanan and N. R. Babu, “Performance analysis of boost & Cuk converter in MPPT based PV system,” *IEEE Int. Conf. Circuit, Power Comput. Technol. ICCPCT 2015*, no. 1, 2015.
- [10] N. Mohan, *Power Electronics Converters, Applications and Design 3rd*. 2003.
- [11] K. Loukil, H. Abbes, H. Abid, M. Abid, and A. Toumi, “Design and implementation of reconfigurable MPPT fuzzy controller for photovoltaic systems,” *Ain Shams Eng. J.*, vol. 11, no. 2, pp. 319–328, 2020.

VII. BIODATA PENULIS



Olivia Vandra Dewi, lahir di Pasuruan tahun 2000. Mahasiswa Institut Teknologi Nasional Malang mengambil prodi Teknik Elektro S-1 konsentrasi Teknik Energi Listrik pada tahun 2018.