

DESAIN DAN IMPLEMENTASI *SOLAR CHARGING CONTROLLER* DENGAN TOPOLOGI *CUK CONVERTER* MENGGUNAKAN KONTROL LOGIKA *FUZZY*

Gita Kartika Rizqofani¹

Program Studi Teknik Elektronika Politeknik Negeri Malang
Email: rizqofani@gmail.com

Denda Dewatama¹

Program Studi Teknik Elektronika Politeknik Negeri Malang
Email: denda.dewatama@polinema.ac.id

Mila Fauziah¹

Program Studi Teknik Elektronika Politeknik Negeri Malang
Email: mila.fauziah@polinema.ac.id

ABSTRACTS : *Solar energy as an alternative way of anticipating the crisis of electrical energy. The output voltage of solar energy is unstable depends on the intensity of solar radiation and temperature. Solar energy obtained needs to be stored in batteries. On the other hand, battery charging system requires constant voltage, dc-dc converter is the right solution. Cuk converter is one of dc-dc converter topology that has the advantage of stable continuous current at input and output.. The purpose of this research to design and realize a battery charging system with fuzzy logic controller on the cuk converter. The fuzzy logic controller method to generate Pulse Width Modulation (PWM) so that the output voltage is 14 Volt. Fuzzy logic control uses the Mamdani method with 5 error membership functions and 5 delta error membership functions, as well as 5 output membership functions that is single tone. The results of the research that has been done for the response signal graph generated from fuzzy logic control parameters are for Response time (t_r) = 0.74 seconds, Peak time (t_p) = 1.243 seconds, % over shoot = 0%, Settling time (t_s) = 1,243 seconds, Error (ess) = 0.17. the conclusion of this research is that the output of the singletone fuzzy control system response (-4, -2, 0, 2, 4) for the parameters applied shows a stable output value and can work well according to the design.*

Keyword: *Cuk Converter; Fuzzy Logic Controller; Pulse Width Modulation (PWM); Solar Energy.*

ABSTRAK : Energi surya sebagai cara alternatif dalam mengantisipasi krisis energi listrik. Tegangan keluaran dari energi surya tidak stabil tergantung dari intensitas dari radiasi matahari dan suhu. Energi surya yang diperoleh perlu disimpan pada baterai. Disisi lain, sistem pengisian baterai membutuhkan tegangan konstan, dengan menggunakan dc-dc konverter adalah solusi yang tepat. *Cuk converter* merupakan salah satu topologi dc-dc konverter yang memiliki keunggulan arus kontinyu yang stabil pada *input* dan *output*-nya. Tujuan dari penelitian ini untuk merancang dan merealisasikan sistem pengisian baterai dengan kontrol logika *fuzzy* pada *cuk converter*. Metode kontrol logika *fuzzy* berfungsi untuk membangkitkan *Pulse Width Modulation* (PWM) sehingga tegangan keluarannya yaitu 14 Volt. Kontrol logika *fuzzy* dengan metode Mamdani dengan 5 fungsi keanggotaan *error* dan 5 fungsi keanggotaan delta *error*, serta 5 fungsi keanggotaan keluaran berupa *single tone*. Dari hasil penelitian yang telah dilakukan untuk grafik sinyal respon yang dihasilkan dari parameter kontrol logika *fuzzy* untuk *Response time* (t_r) = 0.74 detik, *Peak time* (t_p) = 1.243 detik, % *over shoot* = 0%, *Settling time* (t_s) = 1,243 detik, *Error* (ess) = 0.17. Kesimpulan dari penelitian ini untuk keluaran respon sistem kontrol *fuzzy singletone* (-4, -2, 0, 2, 4) pada parameter yang diterapkan menunjukkan nilai keluaran yang stabil dan dapat bekerja dengan baik sesuai dengan perancangan.

Kata Kunci: *Cuk Converter; Energi Surya; Kontrol Logika Fuzzy; Pulse Width Modulation (PWM).*

PENDAHULUAN

Kebutuhan manusia sehari-hari adalah energi listrik, hal ini dikarenakan sebagai penunjang kehidupan dan pembangunan nasional. Setiap peralatan elektronik yang digunakan menggunakan sumber energi listrik. Akibatnya, jumlah energi fosil persediaan di bumi ini semakin lama menipis sehingga tidak dapat diperbarui lagi [1]. Indonesia merupakan negara tropis yang memiliki ketersediaan panas matahari melimpah, sehingga dapat menggunakan energi terbarukan sebagai alternatif untukantisipasi krisis energi listrik dengan memanfaatkan energi terbarukan yaitu Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) [2]. Keunggulan pada tenaga surya yaitu bebas dari polusi, perawatannya mudah. Kemampuan panel surya untuk menghasilkan daya sangat tergantung pada perubahan intensitas cahaya dan temperatur sehingga tegangan keluaran dan arus keluaran yang tidak stabil.

DC-DC konverter adalah sebuah perangkat elektronika yang dapat mengubah level tegangan dan arus DC ke level tegangan yang lain. Banyak topologi dari DC-DC konverter, yaitu: *buck converter* [3], *buck-boost converter* [4], *Sepic* [5], dan *cuk converter* [6]. *Cuk converter* merupakan topologi yang

¹ Program Studi Teknik Elektronika, Jurusan Teknik Elektro, Politeknik Negeri Malang

dapat menghasilkan tegangan lebih kecil atau lebih besar dari tegangan masukannya. *Cuk converter* mempunyai harmonisa arus masukan yang kecil [7]. Sehingga, DC-DC *converter* mengubah level tegangan *solar panel* menjadi level tegangan yang diperbolehkan dalam proses pengisian baterai. Untuk pengisian baterai dibutuhkan tegangan yang stabil [8]. Oleh karena itu dibutuhkan suatu kontroler yang dapat mengatur tegangan keluaran stabil pada *cuk converter*, salah satu algoritma yang bisa dipakai yaitu *Fuzzy Logic Controller* [3]. Metode *fuzzy* pada penelitian ini digunakan untuk mengendalikan tegangan keluaran dari *cuk converter*. Dengan menggunakan metode ini untuk hasil keluarannya lebih stabil dan akurat [3].

Fokus dari penelitian ini adalah bagaimana merancang dan merealisasikan untuk sistem *solar charging* baterai atau aki menggunakan *cuk converter* dengan algoritma *fuzzy logic controller* untuk membangkitkan *Pulse Width Modulation* (PWM) dengan mengubah *duty cycle* sehingga didapatkan tegangan keluaran stabil 14 V dengan arus 2 A dengan frekuensi 20 KHz, serta menghasilkan sinyal respon yang baik pada *error steady state* dan *overshoot* dengan nilai yang lebih kecil.

KAJIAN PUSTAKA

Panel Surya

Sel surya atau *Photovoltaic cell* merupakan sebuah perangkat listrik yang dapat mengubah energi matahari secara langsung menjadi energi listrik dengan menyerap cahaya matahari sesuai dengan efek fotoelektrik [9]. *Photovoltaic cell* terbuat dari bahan semikonduktor yaitu silikon. Pada sel dibuat dengan ukuran sekitar 10 sampai 15 cm², dengan dilapisi plastik atau kaca bening yang kedap terhadap air. Satuan *Wattpeak* (WP) merupakan kapasitas pada daya keluaran yang dihasilkan oleh panel surya, yang kemudian dikonversi terhadap *Wathour* (WH) [10].

Cuk Converter

Cuk converter merupakan dc – dc konverter untuk karakteristik nya seperti *buck-boost converter* yaitu untuk menstabilkan tegangan, akan tetapi untuk tegangan keluaran pada *cuk converter* memiliki polaritas yang berkebalikan dengan tegangan *input*. Pada rangkaian *cuk converter* terdiri dari sumber tegangan *direct current* (DC), 1 buah induktor pada sisi *input* (L1), 1 buah kapasitor sisi *input* (C1), 1 buah mosfet sebagai *switch*, 1 buah dioda, 1 buah induktor pada sisi *output* (L2), 1 buah kapasitor sisi *output* (C2) dan beban. Pada L1 berfungsi untuk mengurangi riak gelombang dari sumber tegangan *input*. Hal ini karena pada kondisi *steady state* tegangan rata-rata yang melalui kedua induktor sama dengan nol karena aliran energi pada *cuk converter* terjadi pada C1 [11].

Sensor Tegangan

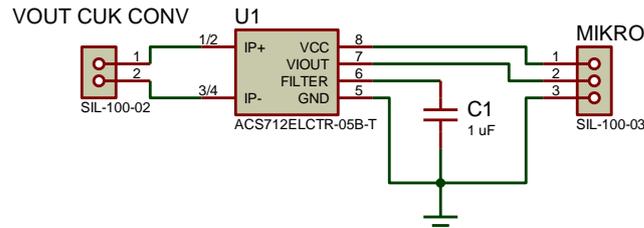
Sensor tegangan pada penelitian ini menggunakan rangkaian pembagi tegangan atau *voltage divider*. Sensor tegangan digunakan untuk mengendalikan tegangan keluaran dari *cuk converter* dengan mengatur perubahan *duty cycle* menggunakan *fuzzy logic controller* sehingga didapatkan tegangan keluaran dari *cuk converter* sesuai dengan *setpoint* 14V.

Data nilai tegangan dari sensor tegangan akan dibaca oleh ADC arduino uno. Karakteristik dari sensor tegangan yaitu dapat membaca nilai tegangan 0 – 5 V pada mikrokontroler, sedangkan apabila tegangan yang dibaca lebih dari 5 V maka harus menggunakan rangkaian pembagi tegangan sehingga data tegangan tersebut dapat dibaca oleh mikrokontroler dan tidak merusaknya.

1. Tegangan *output cuk converter* (range 0 – 14 V)
2. Nilai resistansi R2 ditentukan sebesar 1,200 Ω , tegangan *input* 24V dan nilai tegangan *output* 5V, sehingga didapat nilai resistansi R1 sebesar 4,700 Ω .

Sensor Arus ACS712

Sensor arus pada penelitian ini digunakan untuk mengetahui nilai keluaran arus dari *cuk converter* dan tidak untuk dikendalikan. Keluaran arus pada penelitian ini adalah 2 *Ampere*. Sensor arus yang digunakan adalah modul sensor ACS712 dengan maksimum arus yang dapat diterima oleh sensor adalah 5A dan sensitivitas 185 mV/A [12].



■ Gambar 1. Sensor arus ACS712

Arduino Uno

Mikrokontroler pada penelitian ini menggunakan Arduino Uno yang merupakan papan mikrokontroler yang terdiri dari *Integrated Circuit* tipe ATmega328. Arduino memiliki 14 pin *input* dan *output*, 6 pin pada arduino sebagai *output* PWM, 6 *analog input*, kristal isolator 16 MHz, koneksi tipe kabel USB, *jack power*, tombol *reset* dan kepala ICSP [11].

Fuzzy Logic

Logika *Fuzzy* adalah suatu metode yang memiliki kemampuan untuk memproses variabel yang tidak dapat digambarkan secara pasti atau pasti, misalnya tinggi, lambat, bising, dan lain-lain. Dalam logika *fuzzy*, variabel *fuzzy* direpresentasikan sebagai himpunan yang anggotanya merupakan nilai tegas dan keanggotaannya (fungsi keanggotaan) dalam himpunan tersebut [14].

Logika *fuzzy* menunjukkan sejauh mana suatu nilai benar dan sejauh mana suatu nilai salah. Berbeda dengan logika klasik (*crisp*) atau tegas, suatu nilai hanya memiliki 2 kemungkinan, yaitu menjadi anggota himpunan atau tidak. Derajat keanggotaan 0 berarti nilai tersebut bukan anggota himpunan dan 1 berarti nilai tersebut anggota himpunan [15]. Pada metode mamdani sering dikenal dengan metode max-min yang dimana terdapat beberapa tahapan antara lain:

1. Pembentukan himpunan *fuzzy*
Tahap pertama yaitu pembentukan himpunan *fuzzy* diawali dengan membentuk variabel *input* dan *output* [3].
2. Aplikasi fungsi implikasi (aturan)
Metode *fuzzy* mamdani tahap selanjutnya adalah penerapan fungsi implikasi. Fungsi implikasi yang digunakan adalah nilai yang paling kecil (Min) [3]. Metode Min dilakukan dengan menggunakan persamaan sebagai berikut :

$$\alpha - \text{predikat}_i = \min(\mu_{A_i}[x_i], \dots, \mu_{A_n}[x_n]) \dots \dots \dots (1)$$

3. Komposisi aturan
Komposisi aturan yang digunakan pada metode fuzzy mamdani adalah nilai yang paling besar (*Max*). Proses selanjutnya yaitu membentuk kurva *fuzzy* dengan mengambil nilai *Max* aturan, kemudian dengan memodifikasi daerah *fuzzy* dan diaplikasikan pada *output* menggunakan operator OR (*union*) [3]. Metode *Max* dilakukan dengan menggunakan persamaan sebagai berikut :

$$\mu_{sf} [X_i] = \max(\mu_{sf} [X_i], \mu_{kf}[X_i]) \dots \dots \dots (2)$$

4. Penegasan (*defuzzy*)
Metode *fuzzy* mamdani pada tahap terakhir adalah proses defuzzifikasi. Input dari proses defuzzifikasi ini diperoleh dari komposisi aturan pada *fuzzy*. Output yang dihasilkan yaitu suatu bilangan domain himpunan *fuzzy* tersebut [3].

METODE PENELITIAN

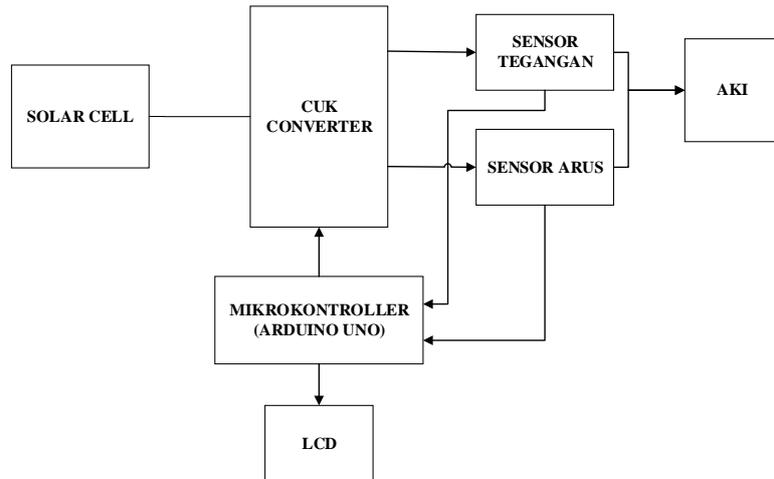
Jenis Penelitian

Metode yang digunakan pada penelitian ini adalah metode experimental (observasi). Metode observasi merupakan pengamatan yang sebuah studi kasus atau pembelajaran yang dilakukan dengan sengaja, terarah, urut, dan sesuai pada tujuan [16].

1. Variabel bebas : *Pulse Width Modulation* (PWM)
2. Variabel terikat : Tegangan keluaran *cuk converter* konstan dengan *setpoint* 14V

Diagram Blok

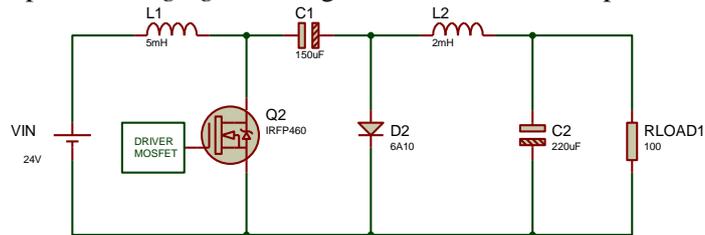
Gambar 2 dibawah ini merupakan diagram blok dari penelitian ini berdasarkan spesifikasi yang telah dibuat.



■ **Gambar 2.** Diagram blok

Perancangan Cuk Converter

Rangkaian *cuk converter* berfungsi sebagai penstabil tegangan keluaran dari panel surya sesuai dengan *setpoint* 14V untuk proses *charging* aki. Rangkaian *cuk converter* dapat dilihat pada Gambar 3.



■ **Gambar 3.** Rangkaian *cuk converter*

Berdasarkan desain rangkaian *cuk converter* pada penelitian ini maka ditentukan parameter perancangan pada Tabel 1 sebagai berikut :

■ **Tabel 1.** Parameter perancangan *cuk converter*

Daya (P)	100 Watt
Tegangan <i>Input</i> (Vin)	24 Volt
Tegangan <i>Output</i> (Vout)	14 Volt
% <i>Ripple</i> Tegangan	1%
Arus <i>Output</i>	2 Ampere
% <i>Ripple</i> Arus (<i>input&output</i>)	5%
Frekuensi <i>Switching</i>	25 Khz

Berdasarkan parameter perancangan *cuk converter* pada Tabel 1, tahap selanjutnya yaitu menentukan nilai dan jenis komponen yang digunakan dalam perancangan antara lain :

1. Menentukan nilai resistansi beban (*Rload*)

$$Rload = \frac{VO^2}{P} \dots \dots \dots (3)$$

Berdasarkan nilai tegangan *output* (Vout) sebesar 14V dan tegangan *input* (Vin) sebesar 24V maka beban yang digunakan dapat dihitung sesuai dengan persamaan 3 sebagai berikut :

$$Rload = \frac{VO^2}{P}$$

$$Rload = \frac{(14)^2}{100}$$

$$R_{load} = 1,96 \Omega$$

2. Menentukan nilai induktor sisi *input* (L1) dan induktor sisi *output* (L2)

$$L1 = \frac{V_{in}^2 \cdot V_o}{\lambda \cdot P \cdot F_s \cdot (V_o + V_o)} \dots \dots \dots (4)$$

Berdasarkan nilai tegangan *output* (Vout) sebesar 14V, tegangan *input* (Vin) sebesar 24V, faktor *ripple* untuk desain induktor sisi *input* yaitu 5% sehingga dapat dihitung sesuai dengan persamaan 4 sebagai berikut :

$$L1 = \frac{(24)^2 \cdot 14}{0,05 \cdot 50 \cdot 25000 \cdot (14 + 14)}$$

$$L1 = \frac{8064}{1.750.000}$$

$$L1 = 0,0046 H$$

$$L1 = 4,6 mH$$

$$L1 = 5 mH$$

Pada induktor sisi *output* dapat dihitung dengan menggunakan persamaan yaitu :

$$L2 = \frac{V_{in} \cdot V_o^2}{\lambda \cdot P \cdot F_s \cdot (V_o + V_{in})} \dots \dots \dots (5)$$

Berdasarkan nilai tegangan *output* (Vout) sebesar 14V, tegangan *input* (Vin) sebesar 24V, faktor *ripple* untuk desain induktor sisi *output* yaitu 5% sehingga dapat dihitung sesuai dengan persamaan 5 sebagai berikut :

$$L2 = \frac{24 \cdot (14)^2}{0,05 \cdot 50 \cdot 25000 \cdot (14 + 24)}$$

$$L2 = \frac{4704}{2.375.000}$$

$$L2 = 0,0019 H$$

$$L2 = 1,9 mH$$

$$L2 = 2 mH$$

3. Menentukan nilai kapasitor sisi *input* (C1) dan kapasitor sisi *output* (C2)

$$C1 = \frac{P}{\lambda \cdot F_s \cdot (V_o + V_{in})^2} \dots \dots \dots (6)$$

Berdasarkan nilai tegangan *output* (Vout) sebesar 14V, tegangan *input* (Vin) sebesar 24V, faktor *ripple* tegangan untuk desain kapasitor sisi *input* yaitu 1% sehingga dapat dihitung sesuai dengan persamaan 6 sebagai berikut :

$$C1 = \frac{50}{0,1 \cdot 25000 \cdot (14+24)^2}$$

$$C1 = \frac{50}{361.000}$$

$$C1 = 0,00013 H$$

$$C1 = 130 \mu F$$

$$C1 = 150 \mu F$$

Sedangkan untuk mencari nilai kapasitor sisi *output* menggunakan persamaan sebagai berikut :

$$C2 = \frac{P}{2 \cdot \pi \cdot F_s \cdot \lambda \cdot V_o} \dots \dots \dots (7)$$

Berdasarkan nilai tegangan *output* (Vout) sebesar 14V, tegangan *input* (Vin) sebesar 24V, faktor *ripple* tegangan untuk desain kapasitor sisi *output* yaitu 1% sehingga dapat dihitung sesuai dengan persamaan 7 sebagai berikut :

$$C2 = \frac{50}{2,3 \cdot 14 \cdot 25000 \cdot 0,01 \cdot (14)^2}$$

$$C2 = \frac{50}{307.720}$$

$$C2 = 0.00016 H$$

$$C2 = 160 \mu F$$

4. Pemilihan Dioda

Dioda yang digunakan pada penelitian ini adalah diode tipe MIC 6A10, yang dimana dapat melewati arus sebesar 6 ampere dan tegangan 1000 volt.

5. Pemilihan Mosfet

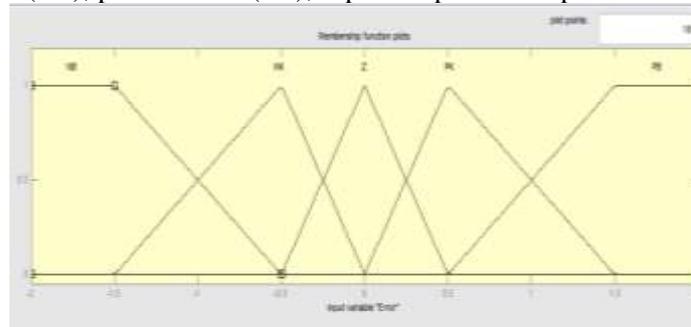
Mosfet yang digunakan pada penelitian ini adalah mosfet tipe IRFP460, mosfet ini memiliki karakteristik untuk $I_d = 20 \text{ ampere}$ dan $V_{ds} = 500 \text{ volt}$.

Perancangan Kontrol Logika Fuzzy

Perancangan kontrol logika fuzzy dimana mikrokontroler untuk membangkitkan PWM yang diumpankan pada mosfet untuk mengendahkan tegangan *output cuk converter* [3]. Berikut merupakan tahapan untuk merancang kontrol logika fuzzy antara lain :

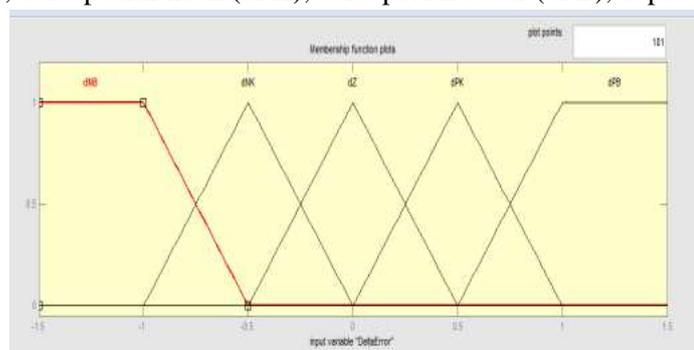
1. Menentukan fungsi keanggotaan

Fungsi keanggotaan pada sistem ini adalah *error* dan *delta error*, yang dimana masing – masing memiliki 5 label yaitu untuk *error* terdapat negatif besar (NB), negatif kecil (NK), *zero* (Z), positif kecil (PK), positif besar (PB), seperti dapat dilihat pada Gambar 4.



■ Gambar 4. Fungsi keanggotaan *error*

Sedangkan untuk *delta error* terdapat delta negatif besar (dNB), delta negatif kecil (dNK), delta *zero* (dZ), delta positif kecil (dPK), delta positif besar (dPB), dapat dilihat pada Gambar 5.



■ Gambar 5. Fungsi keanggotaan *delta error*

2. Fuzzifikasi

Perancangan Fuzzifikasi dan pengambilan keputusan menggunakan metode mamdani (Max Min). Dimana terdapat dua anteseden yaitu *Error* (E) dan *delta Error* (dE) [3].

3. Kaidah atur fuzzy

Kaidah atur fuzzy terdapat pada Tabel 2 dibawah ini :

■ **Tabel 2.** Kaidah Atur *Fuzzy*

E dE	NB	NK	Z	PK	PB
dNB	AK	S	AB	B	K
dNK	K	S	S	B	B
dZ	K	S	S	B	B
dPK	K	AK	S	AB	B
dPB	K	AK	AK	AB	B

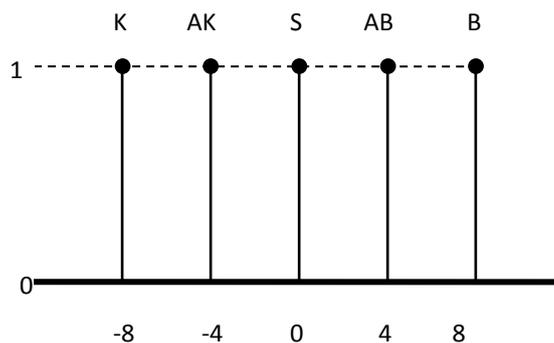
4. Defuzzifikasi

Defuzzifikasi sistem ini menggunakan metode *Center Of Gravity* (COG). Untuk fungsi keanggotaan keluaran *fuzzy* adalah *singleton* menggunakan persamaan sebagai berikut :

$$z^* = \frac{\sum_i \mu_{ci}(z) \cdot z_i}{\sum_i \mu_{ci}(z)} \dots \dots \dots (8)$$

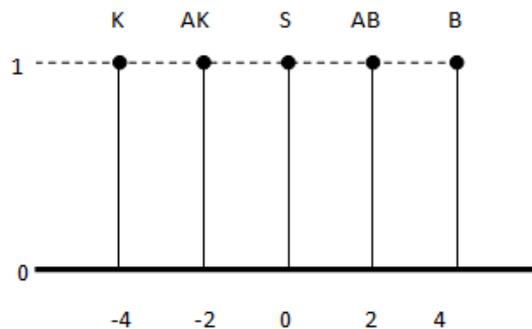
Dimana z^* = *crisp output*
 $\mu_{ci}(z)$ = *fuzzy output*
 z_i = posisi *singleton* pada sumbu z

Keluaran dari kontrol logika *fuzzy* adalah sinyal *singleton*. Pada gambar 6 hasil dari respon sistem kontrol logika *fuzzy* dimana untuk kondisi nilai *error* = 0, *delta error* = 0 nilai dimana *output fuzzy* berupa *singleton* yang bernilai (-8, -4, 0, 4, 8).



■ **Gambar 6.** Fungsi keanggotaan keluaran FLC 1

Sedangkan pada gambar 7 grafik dari respon sistem kontrol *fuzzy* dimana untuk kondisi *error* = 0, *delta error* = 0, dimana nilai *output fuzzy* berupa *singleton* yang bernilai (-4, -2, 0, 2, 4).



■ **Gambar 7.** Fungsi keanggotaan keluaran FLC 2

ANALISA DAN HASIL

Pengujian Sensor Tegangan

Pengujian ini dilakukan untuk mengambil data yang terbaca oleh rangkaian pembagi tegangan, hasil data tersebut dibandingkan antara nilai yang tampil pada LCD dengan multimeter untuk mengetahui kelayakan penggunaan sensor serta berapa besar nilai *error* dari masing – masing pengukuran.

■ **Tabel 3.** Hasil pengujian sensor tegangan

No	Vin	DUT	Avometer	Error	Error (%)
1	0	0	0	0	0%
2	3	2,95	2,98	0,03	1%
3	5	4,97	4,93	0,04	1%
4	6	5,97	5,89	0,08	1%
5	9	8,97	8,91	0,06	1%
6	10	9,99	9,93	0,06	1%
7	12	12,02	11,95	0,07	1%
8	13	13,03	13,03	0	0%
9	15	15,03	15,00	0,03	0,2%
Error rata – rata				0,041	1%

Berdasarkan Tabel 3 hasil pengujian rangkaian pembagi tegangan dapat disimpulkan *error* rata-rata sebesar 1%.

Pengujian Sensor Arus

Pengujian ini dilakukan untuk mengambil data yang terbaca oleh sensor arus, hasil data tersebut dibandingkan antara nilai yang tampil pada LCD dengan multimeter untuk mengetahui kelayakan penggunaan sensor serta berapa besar nilai *error* dari masing – masing pengukuran.

■ **Tabel 4.** Hasil Pengujian Sensor Arus

No	Iin	Tampilan LCD	Error (%)
1	0	0,045	0
2	0,1	0,175	1%
3	0,2	0,265	0,32%
4	0,3	0,355	0,2%
5	0,4	0,455	0,11%
6	0,5	0,540	0,1%
7	0,6	0,650	0,1%
8	0,7	0,745	0,1%
9	0,8	0,845	0,1%
10	0,9	0,950	0,1%
11	1	1,05	0,1%
12	1,1	1,145	0,04%
13	1,2	1,250	0,04%
14	1,3	1,345	0,03%
Error rata – rata			0,167%

Berdasarkan Tabel 4 hasil pengujian sensor arus ACS712 dapat disimpulkan *error* rata-rata sebesar 0.167%.

Pengujian Cuk Converter

Pengujian ini dilakukan untuk mengambil data dari rangkaian *cuk converter* dengan mengubah nilai PWM sehingga diperoleh tegangan keluaran konstan 14V.

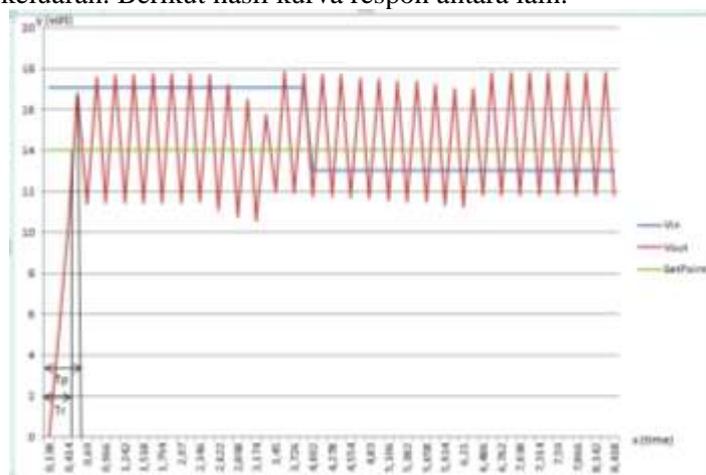
■ **Tabel 5.** Hasil Pengujian Tegangan *Output* Konstan

No	Vout Konstan	Vin	PWM	Hasil Vout
1	14 V	24 V	24%	13,98 V
2	14 V	22 V	26%	13,87 V
3	14 V	20V	28%	13,65V
4	14V	18V	31%	13,68V
5	14V	16 V	35%	13,93 V
6	14 V	14V	39%	13,69 V
7	14 V	12V	44%	13,75 V
8	14 V	10V	52%	13,82 V

Berdasarkan Tabel 5 dapat disimpulkan pengujian tegangan *output* konstan dapat bekerja sesuai dengan perancangan.

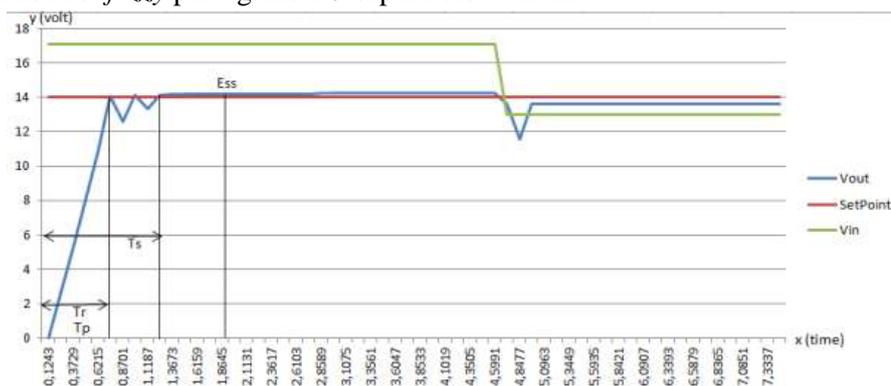
Pengujian Kontrol Logika *Fuzzy*

Pengujian kontrol logika *fuzzy* bertujuan untuk mengetahui respon sistem kontrol *fuzzy* terhadap perubahan tegangan keluaran. Berikut hasil kurva respon antara lain:



■ **Gambar 8.** Grafik respon sistem kontrol *fuzzy* 1

Berdasarkan gambar 8 dapat disimpulkan bahwa grafik dari respon sistem kontrol *fuzzy* tidak stabil dan terjadi osilasi, *ripple* yang besar pada tegangan *output* sebesar $\pm 4V$. Sedangkan grafik dari respon sistem kontrol *fuzzy* pada gambar 9 seperti dibawah ini :



■ **Gambar 9.** Grafik respon system kontrol *fuzzy* 2

Hasil dari pengujian kontrol logika *fuzzy* pada Gambar 9 diatas adalah sebagai berikut :

1. *Respon time* (*tr*) = 0,74 detik
2. % *over shoot* = 0%
3. *Settling time* (*ts*) = 1,243 detik
4. *Error* (*ess*) = 0,17

KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

Dari hasil perancangan dan pengujian *cuk converter* maka dapat disimpulkan sebagai berikut :

1. Kontrol logika *fuzzy* menggunakan metode mamdani dengan 5 fungsi keanggotaan *error* dan 5 fungsi keanggotaan delta *error*, serta 5 fungsi keanggotaan keluaran berupa *singleton* sehingga diperoleh tegangan keluaran stabil 14V dan arus 2A dengan frekuensi *switching* 20KHz.
2. Berdasarkan perbandingan respon sistem terhadap pengujian kontrol logika *fuzzy* yang menghasilkan nilai yang lebih baik dengan parameter performansi Respon *time* (t_r) = 0,74 detik, % *over shoot* = 0%, *Settling time* (t_s) = 1,243 detik, *Error* (e_{ss}) = 0,17.
3. Pada nilai *output fuzzy* berupa *singleton* yang bernilai (-8, -4, 0, 4, 8) diperoleh hasil respon sistem tidak stabil terjadi osilasi, *ripple* yang besar pada tegangan keluaran sebesar $\pm 4V$. Sedangkan nilai *output fuzzy* berupa *singleton* yang bernilai (-4, -2, 0, 2, 4) diperoleh hasil respon sistem stabil dengan osilasi 0%, *ripple* yang kecil pada tegangan keluaran sebesar $\pm 2V$. Dari pengujian diatas dapat disimpulkan hasil respon sistem yang saya gunakan pada nilai *output fuzzy* berupa *singleton* yang bernilai (-4, -2, 0, 2, 4) karena mempunyai nilai yang lebih baik sesuai dengan perancangan yang diharapkan, dan alat ini dapat diimplementasikan dengan baik untuk proses *solar charging* pada aki.

Saran

Dalam proses perancangan, pembuatan, dan pengujian pada sistem ini masih banyak kekurangan yang perlu diperbaiki. Adapun saran untuk perbaikan tersebut sebagai berikut :

1. Pemilihan kapasitas baterai seharusnya lebih besar agar daya pada baterai tidak cepat habis dan pengimplementasian lebih maksimal.
2. Letak tata peletakan box panel dari segi mekanik perlu diperbaiki lagi agar elektrik secara keseluruhan didalamnya tidak terkena tetesan air hujan sehingga tidak menyebabkan *short circuit*.
3. Dalam penelitian selanjutnya untuk menambahkan sistem kontrol pada sensor arus sehingga dapat mengetahui bagaimana proses *charging* yang baik pada aki.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Buku *Outlook Energi Indonesia 2019*. Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral Republik Indonesia. Jakarta. September 2019.
- [2] Hasan, M.H., T.M.I. Mahlia., Hadi Nur. 2012. *A Review on energy scenario and sustainable energy in Indonesia. Renewable and sustainable energy reviews* 16 (2012) 2316-2328.
- [3] Dewatama, Denda; Fauziyah, Mila; Safitri, Hari Kurnia. 2017. "Optimasi *Buck Converter* Pada *Solar Tree* Menggunakan Kontrol Logika *Fuzzy*". *Jurnal Eltek*, [S.l.], v. 15, n. 2, p. 36-51, oct. 2017. ISSN 2355-0740.
- [4] A. Chub, D. Vinnikov, R. Kosenko, E. Liivik. 2017. "Wide Input Voltage Range Photovoltaic Microconverter With Reconfigurable Buck-Boost Switching Stage", *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, Vol. 64, No. 7, pp. 5974-5983.
- [5] O Melfazen, MT Alawiy, D Dewatama. 2020. "Implementaasi *Maximum Power Point Tracker* (MPPT) dengan topologi *sepic* pada pembangkit listrik tenaga surya", *Jurnal Eltek*, Vol. 18, No. 2, Oktober 2020, pp. 1-8, DOI: <https://doi.org/10.33795/eltek.v18i2.250>
- [6] Belkaid A. et. al. 2019. *Design and Implementation of a Cuk Converter Controlled by a Direct Duty Cycle INC-MPPT. International Journal of Smart Grid*, Vo. 3, No. 1, March 2019.
- [7] M. L. Hakim, S. Handoko, and K. Karnoto, "Analisis Perbandingan *Buckboost Converter* Dan *Cuk Converter* Dengan Pemicuan *Mikrokontroller Atmega 8535* Untuk Aplikasi Peningkatan Kinerja Panel Surya", *Transmisi: Jurnal Ilmiah Teknik Elektro*, vol. 18, no. 3, pp. 137-144, Jun. 2017. <https://doi.org/10.12777/transmisi.18.3.137-144>
- [8] Azhar, H. M. (2021). Optimasi *Battery Charging* pada Pendingin Minuman dengan Sumber *Solar Cell* untuk Beban *Peltier* Menggunakan *Buckboost Converter*. *Journal of Applied Smart Electrical Network and Systems*, 2(01), 1-7. <https://doi.org/10.52158/jasens.v2i01.197>
- [9] Ugale, Chetan P; Dixit, Dr. V. V. "Buck-Boost Converter Using Fuzzy Logic for Low Voltage Solar Energy Harvesting Application", 2017 11th International Conference on Intelligent Systems and Control (ISCO), 2017, pp. 413-417, doi: 10.1109/ISCO.2017.7856029.
- [10] Anonim. "Datasheet panel surya poly-crystalline". www.solana.co.id/datasheets.
- [11] Susanto, Bagus Kurniawan, 2017. "Desain dan Implementasi Konverter CUK dengan Induktor Terkopel untuk Reduksi *Ripple* Arus Masukan". *Jurnal Teknik Elektro Institut Teknologi*

Sepuluh Nopember.

- [12] Dalimunthe, Ruri Ashari, 2018. "Pemantau Arus Listrik Berbasis Alarm Dengan Sensor Arus Menggunakan *Mikrokontroler* Arduino Uno". Jurnal Teknik Komputer, AMIK Royal Kisaran.
- [13] Anonim. "*Datasheet* Arduino Uno". www.farnell.com/datasheets.
- [14] Nasution, Helmi, 2012. "Implementasi Logika *Fuzzy* pada Sistem Kecerdasan Buatan". Fakultas Teknik Jurusan Teknik Elektro Universitas Tanjungpura Pontianak.
- [15] Bova, Simone, et.all, 2010. "*A Logical Analysis of Mamdani – Type Fuzzy Inference, I Theoretical Bases*".
- [16] Syafnidawaty. "Observasi", 2020. Internet : <https://raharja.ac.id/2020/11/10/observasi/> [08 Desember 2021]