

# Optimalisasi Daya *Output* Pada *Photovoltaic* Menggunakan Sistem *Tracking* dan *Fuzzy Logic Controller*

Misti Qurniatun<sup>1</sup>, Sugeng Dwi Riyanto<sup>2</sup>, Muhamad Yusuf<sup>3\*</sup>

<sup>1,2,3</sup>Program Studi Teknik Elektronika, Politeknik Negeri Cilacap  
<sup>1,2,3</sup>Jln. Dr. Soetomo No.1 Karangcengis Sidakaya, Kabupaten Cilacap, 53212, Indonesia

E-mail: mistiqurniatun@gmail.com<sup>1</sup>, sugengdr82@gmail.com<sup>2</sup>, yusuf@pnc.ac.id<sup>3</sup>

---

## Info Naskah:

Naskah masuk: 13 Oktober 2022

Direvisi: 26 Desember 2022

Diterima: 31 Desember 2022

---

## Abstrak

Photovoltaic merupakan salah satu pembangkit listrik yang ramah lingkungan. Salah satu permasalahan penggunaan Photovoltaic adalah tingkat efisiensi yang masih rendah. Oleh karena itu dibutuhkan metode untuk mengoptimalkan kinerja Photovoltaic. Penggunaan *fuzzy logic control* untuk *tracking system dual axis* digunakan pada penelitian ini untuk mengoptimalkan kinerja Photovoltaic. *Tracking system dual axis* berfungsi untuk menjaga Photovoltaic akan selalu tegak lurus dengan arah datangnya matahari sehingga memiliki daya keluaran yang dihasilkan lebih optimal. Input dari sistem tracking berasal dari sensor LDR yang dipasang pada masing-masing sisi Photovoltaic. Sensor ini dikombinasikan dengan RTC untuk mengantisipasi perubahan cuaca (mendung). Data sensor LDR dan RTC sebagai masukan *fuzzy logic controller*. Berdasarkan hasil penelitian daya keluaran Photovoltaic *tracking system* sebesar 9,363 Watt atau 46,82% dari spesifikasi Photovoltaic. Sedangkan Photovoltaic statis dengan pemasangan konvensional memiliki daya 7,247 Watt atau 36,23% dari spesifikasi. Sehingga Photovoltaic dengan *fuzzy logic control* untuk *tracking system dual axis* lebih optimal 29,20%.

---

## Keywords:

photovoltaic;  
tracking system;  
fuzzy logic controller.

---

## Abstract

Photovoltaic is an environmentally friendly power plant. One of the problems with using photovoltaics is the low-efficiency level, therefore a method is needed to optimize photovoltaic performance. The use of fuzzy logic control for a dual-axis tracking system is used in this study to optimize photovoltaic performance. The dual-axis tracking system functions to keep the Photovoltaic always perpendicular to the direction of the sun so that it has a more optimal output power. The input from the tracking system comes from the LDR sensor which is installed on each side of the Photovoltaic. This sensor is combined with the RTC to anticipate weather changes (cloudy). LDR and RTC sensor data as fuzzy logic controller input. Based on the research results, the output power of the Photovoltaic tracking system is 9.363 watts or 46.82% of the Photovoltaic specifications. Meanwhile, static photovoltaics with conventional installation has a power of 7.247 watts or 36.23% of the specification. So Photovoltaic with fuzzy logic control for dual axis tracking system is more optimal at 29.20%.

---

\*Penulis korespondensi:

Muhamad Yusuf

E-mail: yusuf@pnc.ac.id

## 1. Pendahuluan

Indonesia merupakan Negara dengan energi matahari yang melimpah disemua wilayahnya. Cahaya matahari seharusnya dapat dimanfaatkan secara optimal sebagai sumber energi diseluruh wilayah Indonesia. Diversifikasi energi merupakan cara yang bisa digunakan untuk mengatasi ketergantungan energi berbahan bakar fosil [1]. Seiring dengan meningkatnya perekonomian dengan ditandai bertambahnya peralatan-peralatan modern di industri, bertambahnya jumlah perkantoran dan perumahan di perkotaan, maka konsumsi energi listrik juga semakin bertambah. Manusia dalam menjalankan semua aktifitasnya juga membutuhkan energi listrik setiap harinya hal ini yang mendorong kebutuhan energi listrik terus meningkat setiap tahunnya [2].

Saat ini sumber energi listrik sebesar 50% lebih masih menggunakan energi berbahan bakar fosil yang berasal dari minyak bumi dan batu bara. Namun persediaan energi tersebut semakin menipis, jika tidak ditangani dengan sesius maka, akan terjadi krisis energi dimasa depan [3]. Menurut Menteri ESDM Arifin menyatakan bahwa tanpa penemuan cadangan yang baru maka, minyak bumi di Indonesia akan habis dalam sembilan tahun ke depan, gas bumi akan habis dalam 22 tahun lagi, dan batubara akan habis dalam 65 tahun mendatang. Saat ini Indonesia memiliki kapasitas (pembangkitan) sumber energi sebesar 70,96 Giga Watt (GW). Dari kapasitas energi tersebut, 35,36 persen energi berasal dari batu bara, 19,36 persen berasal dari gas bumi, 34,38 persen dari minyak bumi, dan EBT sebesar 10,9 persen [4]. Salah satu energi terbarukan adalah dari pembangkit listrik tenaga surya (PLTS) dimana peralatan utama dari sumber energi ini adalah *photovoltaic* (PV).

Permasalahan pada penggunaan Photovoltaic adalah ketika cuaca mendung sehingga menghalangi cahaya matahari ke *Photovoltaic*. Untuk mengoptimalkan kinerja Photovoltaic terdapat beberapa hal yang harus diperhatikan salah satunya adalah posisi *Photovoltaic*. Posisi peletakan Photovoltaic menjadi penentu tingkat energi matahari yang dapat terserap. *Photovoltaic* dapat bekerja dengan baik apabila cahaya matahari dapat menyinari seluruh permukaan seluruhnya [5]. Oleh karena itu dibutuhkan riset mendalam untuk mengoptimalkan pembangkit listrik tenaga surya. Perlu adanya terobosan baru untuk menyiasati hal tersebut agar penggunaan *Photovoltaic* dapat maksimal.

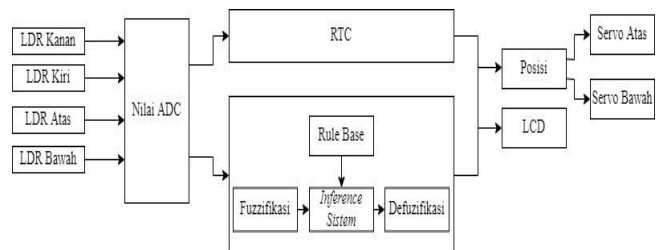
Salah satu metode untuk optimalisasi daya pada PV adalah menggunakan *tracking system* matahari. Hal ini bertujuan untuk membuat *photovoltaic* mengikuti gerak semu harian maupun gerak semu tahunan matahari sehingga *photovoltaic* akan selalu tegak lurus dengan matahari. Beberapa penelitian telah dilakukan untuk optimalisasi sistem *tracking* solar panel oleh (ardiana, 2019) menggunakan dua axis solar tracker ternyata mampu meningkatkan jumlah energi yang dihasilkan oleh photovoltaic [6]. Penelitian yang lain terkait dengan tracking sistem *photovoltaic* juga pernah dilakukan oleh (kurniawan, 2020) menggunakan RTC sebagai acuan untuk proses *tracking* melalui cara ini ternyata dapat meningkatkan efisiensi daya yang dihasilkan oleh PV sebesar 4.83% bila dibandingkan dengan statis PV [7].

Salah satu metode untuk mengatur proses tracking adalah *Fuzzy Logic Control (FLC)*. FLC merupakan salah satu metode pengendalian sistem yang saat ini banyak digunakan diberbagai disiplin ilmu, khususnya di bidang sistem kendali. Kelebihan dari FLC adalah tidak diperlukannya pemodelan matematis dari sistem yang akan dikendalikan [8]. FLC juga pernah digunakan untuk pengaturan posisi pada motor DC yang dilakukan oleh (adnan, 2021) FLC pada penelitian ini hanya disimulasi menggunakan program matlab [9]. Berdasarkan beberapa permasalahan tentang optimalisasi *Photovoltaic* dan beberapa referensi pada penelitian sebelumnya, maka dalam penelitian ini digunakan sistem *dual tracking photovoltaic* dengan sensor berupa LDR sebanyak empat buah untuk menentukan posisi arah datangnya cahaya matahari dan dikombinasikan dengan data dari RTC untuk mengantisipasi cuaca mendung. Data dari sensor LDR dan RTC dijadikan masukan dari *Fuzzy Logic Controller (FLC)*. Makalah ini terdiri dari beberapa bagian yaitu Bagian pertama berupa Pendahuluan yang memuat latar belakang penelitian ini dilakukan dan referensi penelitian yang sudah dilakukan sebelumnya. Bagian kedua berisi Metode Penelitian berupa Perancangan Diagram Block, Perancangan perangkat keras (mekanik dan rangkaian elektronik), Perancangan perangkat lunak (diagram alir). Bagian ketiga adalah hasil dan pembahasan dari penelitian yang telah dilakukan yang terdiri dari data hasil pengujian dan analisa terhadap data yang dihasilkan. Bagian keempat adalah kesimpulan dari penelitian yang sudah dilakukan.

## 2. Metode

### 2.1 Blok Diagram

Diagram Blok merupakan salah satu bagian dalam perancangan sistem implementasi *fuzzy logic control* untuk *tracking system* dalam mengoptimalkan Photovoltaic karena dari diagram blok dapat diketahui prinsip kerja keseluruhan rangkaian. Mempermudah proses perancangan pembuatan alat sehingga akan terbentuk suatu sistem yang sesuai dengan perancangan sebelumnya. Diagram blok dari sistem dapat dilihat pada Gambar 1.



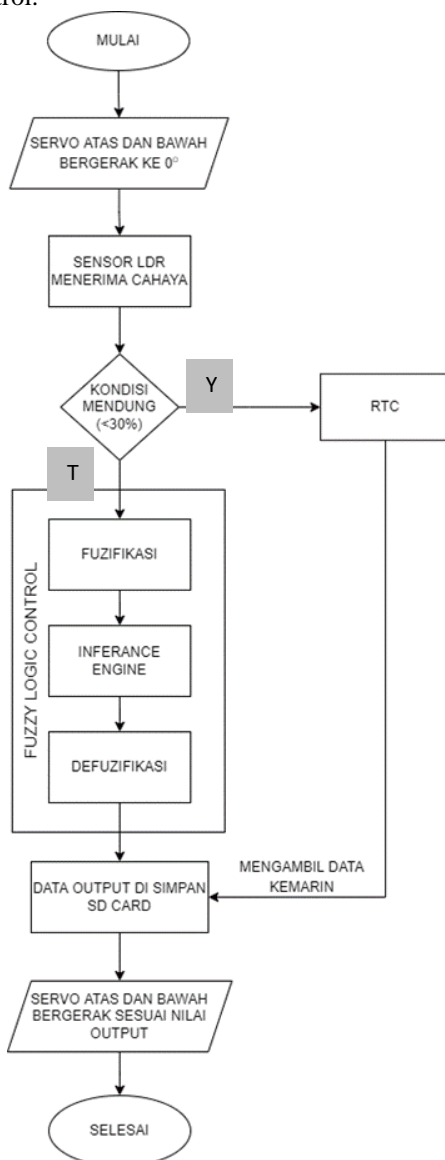
Gambar 1. Blok Diagram

Pada Gambar 1 dapat dijelaskan bahwa terdapat beberapa proses yaitu dalam sistem *input* yang berasal dari data masukan LDR serta sistem *output* data yang berupa nilai ADC akan menjadi input sebagai *Fuzzy Logic Control* dan RTC yang akan memproses data input yang berasal dari LDR. Kemudian hasil data input yang masuk kedalam *Fuzzy Logic Control* akan diolah data selanjutnya akan menjalankan motor servo dan ditampilkan di LCD. Dan jika

nilai ADC dari LDR  $<30\%$  maka RTC akan bekerja dengan menggunakan data kemarin untuk menjalankan servo [10].

## 2.2 Diagram Alir

Diagram alir adalah suatu standar untuk menggambarkan proses. Setiap langkah dalam sistem dinyatakan dalam sebuah simbol dan aliran setiap langkahnya dinyatakan dengan garis yang dilengkapi tanda panah. Berdasarkan Gambar 2 sistem kerja dimulai dari posisi motor servo atas dan bawah bergerak ke 0 derajat. Selanjutnya sensor LDR menerima cahaya matahari dan mengubah resistansi pada sensor LDR berdasarkan intensitas cahaya sinar yang didapat dan akan mengirim sinyal analog ke Arduino Mega 2560 dalam bentuk nilai ADC. Nilai ADC diterima oleh Arduino Mega 2560 dan akan menjadi inputan program sistem kendali Fuzzy Logic Control.



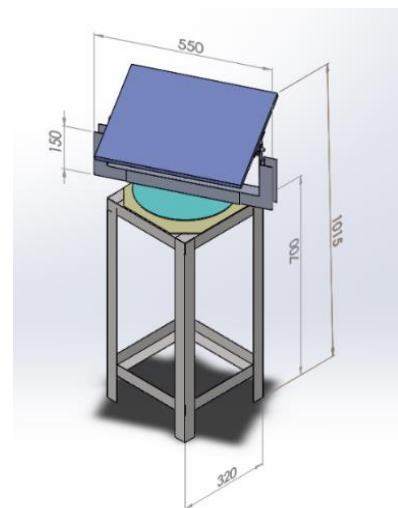
Gambar 2. Diagram Alir Sistem

Apabila nilai ADC lebih dari 30% atau tidak mendung, maka nilai akan diteruskan ke proses Fuzifikasi. Didalam proses fuzifikasi ini terjadi perubahan dari data

numerik menjadi data keanggotaan himpunan fuzzy. Selanjutnya data tersebut akan disesuaikan dengan rule base dan menghasilkan keluaran yang sesuai rule base tersebut. Terdapat 16 rule base pada sistem solar tracking ini. Keluaran dari inference engine akan diteruskan ke *Defuzifikasi*. *Defuzifikasi* yaitu mengubah data himpunan fuzzy menjadi nilai numerik. Selanjutnya nilai numerik tersebut akan menggerakkan motor servo atas dan bawah. Keluaran data numerik tersebut akan disimpan pada SD Card yang berfungsi apabila cuaca mendung (nilai ADC dibawah 30%) maka program Arduino akan mengambil data kemarin yang sudah tersimpan untuk menjadi nilai inputan ke motor servo. Sehingga motor servo akan tetap bergerak mengikuti matahari sesuai dengan waktu kemarin. RTC sangat berperan jika cuaca mendung dimana pergerakan servo selain dari data dari hari sebelumnya juga dibandingkan dengan data dari waktu yang dihasilkan RTC. Data dari RTC ini akan digunakan jika selama 2 hari berturut-turut kondisi cuaca mendung. Data dari RTC berupa waktu dari pukul 08.00 sampai pukul 16.00 yang setara dengan perubahan sudut antara  $20^{\circ}$  sampai dengan  $120^{\circ}$ .

## 2.3 Perancangan Desain Mekanik

Perancangan desain 3D alat ini menggunakan *software* Solid Work, terdapat beberapa bagian yang harus dibuat untuk dapat bekerja dengan baik. Pada pembuatan perancangan sistem implementasi *fuzzy logic control* untuk *tracking system* dalam mengoptimalkan Photovoltaic terdapat bagian penting yaitu tempat dari komponen untuk *tracking system*. Desain keseluruhan alat seperti pada Gambar 3.



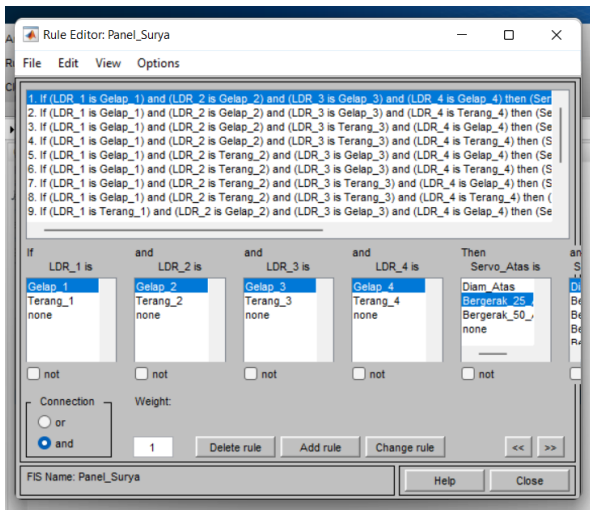
Gambar 3. Desain Mekanik

## 2.4 Perancangan Sistem Fuzzy Logic Control

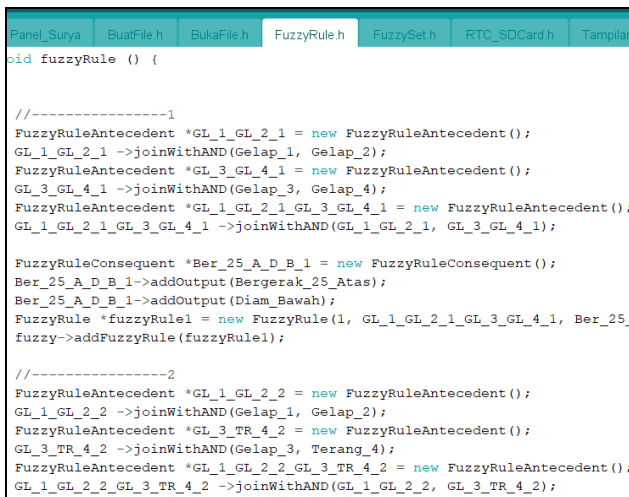
Setelah desain mekanik telah dikerjakan maka selanjutnya dilakukan proses pemrograman sistem operasi yang bertujuan untuk menanamkan sistem *Fuzzy Logic Control*. Proses pemasangan sistem operasi pada *Implementasi Fuzzy Logic Control* menggunakan *software* Arduino IDE dengan bantuan pembuatan rule base *software* MATLAB.

### 2.4.1 Proses Pembuatan Fuzzy Logic Control

Pembuatan *Fuzzy Logic Control* pada *rule base Fuzzy Logic Control dual axis* untuk *solar tracking* yang mencakup aturan-aturan yang mengendalikan sistem dengan bantuan *Fuzzy Rule ANFIS* pada *software Matlab* [11]. Terdapat 16 *rule base* untuk *tracking system dual axis* seperti pada Gambar 4. *Rule based* yang digunakan menggunakan GUI sehingga tidak menggunakan script. FLC pada matlab hanya sebagai alat bantu untuk menghitung FLC yang akan di masukkan pada program Arduino.



Gambar 4. Proses Pembuatan Rule Fuzzy Logic Control



Gambar 5. Program Fuzzy Logic Control Pada Arduino IDE

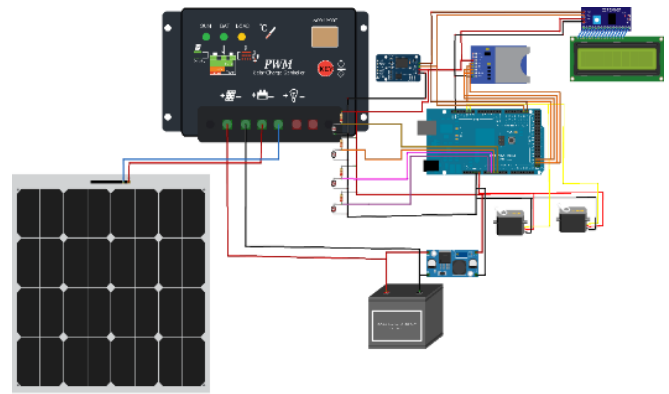
### 2.4.2 Proses Pengungahan Sistem Operasi

Setelah tahap pembuatan *Fuzzy Logic Control* dengan bantuan *rule base MATLAB* pengungahan sistem operasi dengan *software Arduino IDE*. Pembuatan *Fuzzy Logic Control* akan di upload ke mikrokontroller *Arduino Mega 2560* [12],[13]. Program *fuzzy logic control* pada *Arduino IDE* ditunjukkan pada Gambar 5.

### 2.4.3 Perancangan Rangkaian Elektronika

Pada perancangan rangkaian elektronika, yang dimaksud disini yaitu proses pengkabelan komponen. Menggunakan kabel dengan diameter 1 mm<sup>2</sup> dan kabel

diameter 0,5 mm<sup>2</sup>. Kabel dibedakan berdasarkan warna yang disesuaikan dengan fungsinya. Kabel berwarna merah digunakan untuk *source* tegangan 12 V dan 5V. Kabel hitam digunakan untuk *Ground* atau Negatif. Kabel kuning digunakan untuk pengiriman signal input ke *Arduino*. Terdapat pada Gambar 6.



Gambar 6. Rangkaian Elektronika

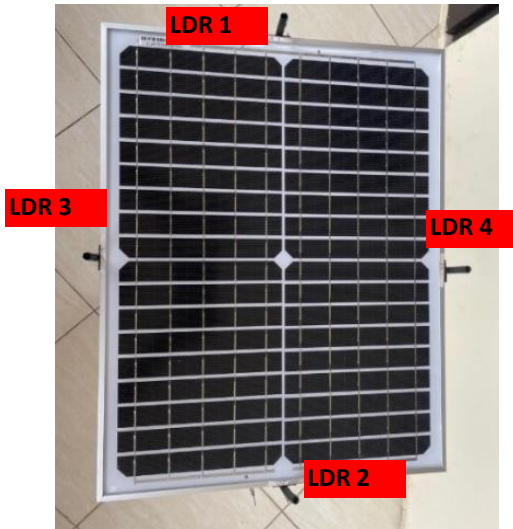
Adapun konfigurasi pin yang digunakan pada *Arduino* ini sebagai berikut:

- IN LDR 1 ke Pin A0 pada *Arduino Mega 2560*
- IN LDR 2 ke Pin A1 pada *Arduino Mega 2560*
- IN LDR 3 ke Pin A2 pada *Arduino Mega 2560*
- IN LDR 3 ke Pin A2 pada *Arduino Mega 2560*
- Pin Motor Servo ke pin 9 dan pin 10 pada *Arduino Mega 2560*
- MISO SD CARD Module ke Pin 50 pada *Arduino Mega 2560*
- MOSI SD CARD Module ke Pin 51 pada *Arduino Mega 2560*
- MOSI SD CARD Module ke Pin 51 pada *Arduino Mega 2560*
- CS SD CARD Module ke Pin 53 pada *Arduino Mega 2560*
- SDA RTC dan I2C ke Pin 21 SDA pada *Arduino Mega 2560*
- SDA RTC dan I2C ke Pin 21 SDA pada *Arduino Mega 2560*

### 3. Hasil dan Pembahasan

Pada bagian bab hasil dan pembahasan berisi Untuk mengetahui hasil dari perancangan Implementasi *Fuzzy Logic Control* untuk *Solar Tracking* dalam mengoptimalkan *Photovoltaic* sesuai dengan apa yang diharapkan untuk maka perlu melakukan pengujian. Pengujian berfungsi untuk mengetahui tentang kinerja dan fungsi alat agar dapat optimal. Sebelum pengujian dilakukan posisi LDR sangat menentukan pembacaan dan kinerja dari *Fuzzy Logic Control*. Berikut posisi LDR yang dipasang pada *Photovoltaic* sesuai dengan Gambar 7.





Gambar 7. Posisi Sensor LDR pada Photovoltaic



Gambar 8. Tampilan alat hasil perancangan

LDR yang digunakan adalah 4 LDR yang sekaligus sebagai input value untuk diolah oleh *fuzzy logic control* untuk menggerakkan motor servo sesuai arah datangnya cahaya yang paling terang atau tinggi nilainya [14], [15]. LDR 1 dan LDR 2 berfungsi sebagai input rotasi cahaya matahari dari pagi sampai sore. Kemudian LDR 3 dan LDR 4 berfungsi sebagai input untuk menentukan posisi matahari berdasarkan bulan kalender.

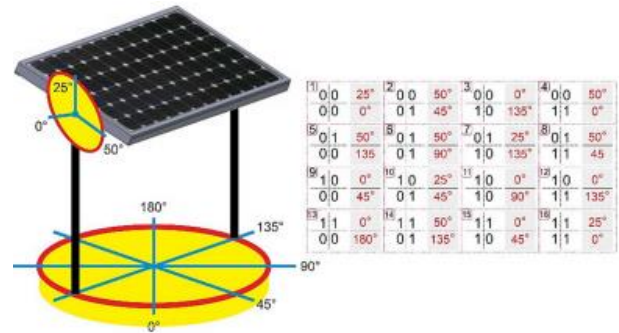
### 3.1 Pengujian Solar Tracking dengan sistem kendali *Fuzzy Logic Control*

Pengujian alat bertujuan untuk mengetahui alat tersebut bekerja sesuai dengan yang diharapkan dan sesuai dengan program yang dibuat. Proses pengujian dari solar tracking system dan Photovoltaic statis pada Gambar 8 sangat bergantung kepada kondisi cuaca, oleh karena itu pengujian dilakukan selama 3 hari dengan kondisi cuaca yang cukup bervariasi.

### 3.2 Pengujian Program *Fuzzy Logic Control*

Pengujian *Fuzzy Logic Control* (FLC) pada Photovoltaic dengan tracking system bertujuan menguji program dengan arduino mega dan melihat apakah bekerja sesuai dengan logika fuzzy yang diharapkan. Terdapat 16

aturan yang digunakan untuk Photovoltaic tracking system dual axis seperti pada Gambar 9.



Gambar 9. Posisi Motor Servo dan *Rule Base*

### 3.2.1 Langkah – Langkah Pengujian Program *Fuzzy Logic Control*

- 1) Membuka program *Fuzzy Logic Control* pada software Arduino IDE, seperti pada Gambar 10.
- 2) Upload program ke Arduino Mega dan lakukan kalibrasi RTC, seperti pada Gambar 11.
- 3) Pastikan RTC dan SD Card sudah terkoneksi hingga muncul tulisan “Membuat File Berhasil”, jika tidak terkoneksi maka akan muncul “Memory Tidak Terdeteksi”. Jika tidak terkoneksi maka program FLC tidak dapat berjalan. Dapat dilihat pada Gambar 12.
- 4) Pembacaan LDR dan Sudut servo motor atas dan bawah akan tampil di LCD seperti Gambar 13.

```

Panel_Surya | Arduino 1.8.19
File Edit Sketch Tools Help

Panel_Surya BuatFile.h BukaFile.h FuzzyRule.h FuzzySet.h

// ----- LDR -----
#define LDR_1_PIN A0
int Kecerahan_1;
#define LDR_2_PIN A1
int Kecerahan_2;
#define LDR_3_PIN A2
int Kecerahan_3;
#define LDR_4_PIN A3
int Kecerahan_4;

// ----- SERVO -----
#include <Servo.h>
Servo Servo_Atas;
Servo Servo_Bawah;
    
```

Gambar 10. Tampilan Program pada Arduino IDE

```

// ----- RTC -----
RTC.begin();
//----Aktifkan Program untuk Kalibrasi Mengikuti Waktu di Laptop/PC
RTC.adjust(DateTime(F(_DATE_), F(_TIME_)));
//----Aktifkan Program Untuk Kalibrasi Sesuai Waktu yang Diinginkan
//RTC.adjust(DateTime(2022, 7, 20, 10, 0, 0));
//---//(Tahun, Bulan, Tanggal, Jam, Menit, Detik)
    
```

Gambar 11. Proses Kalibrasi Program FLC

```

08:33:58.632 -> Servo Atas : 35
08:33:58.632 -> Servo Bawah : 92
08:33:58.632 ->
08:33:58.632 -> -----
08:33:59.055 ->
08:33:59.055 -> Berhasil Buat File
08:33:59.055 -> File yg dibuat: 1001 ----> 35;92
08:34:02.346 ->
08:34:02.346 -> -----
    
```

Gambar 12. Program SD Card dan RTC Berhasil

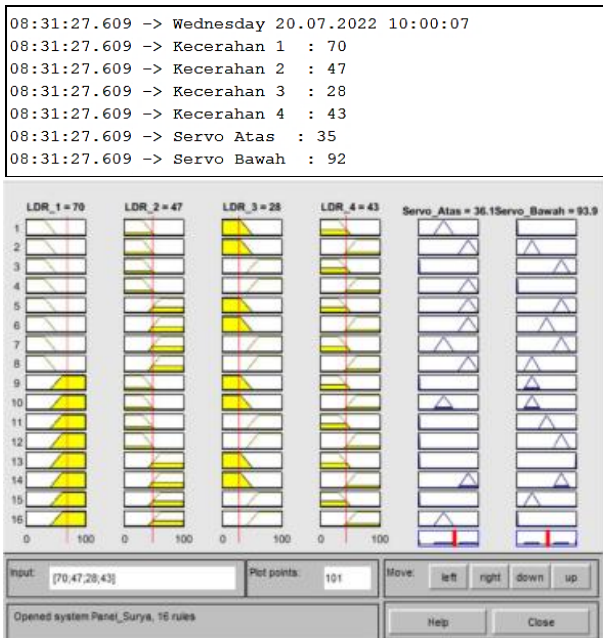


Gambar 13. Tampilan Layar pada LCD

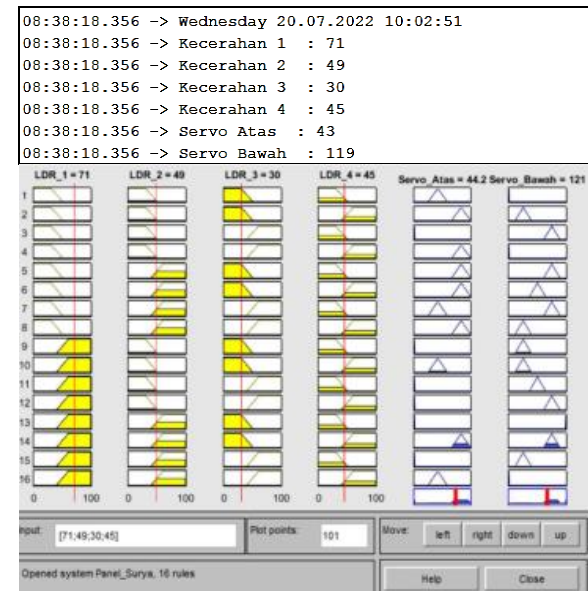
5) Pengujian pembacaan LDR dan Servo motor sesuai dengan aturan yang telah dibuat.

**3.2.2 Pengujian Program Fuzzy Logic Control di Matlab**

1) Hasil Pengujian Program ke-1 Fuzzy Logic Control, diperlihatkan pada Gambar 14.



Gambar 14. Pengujian 1 Pembacaan LDR dan Motor Servo pada Arduino IDE dan Matlab

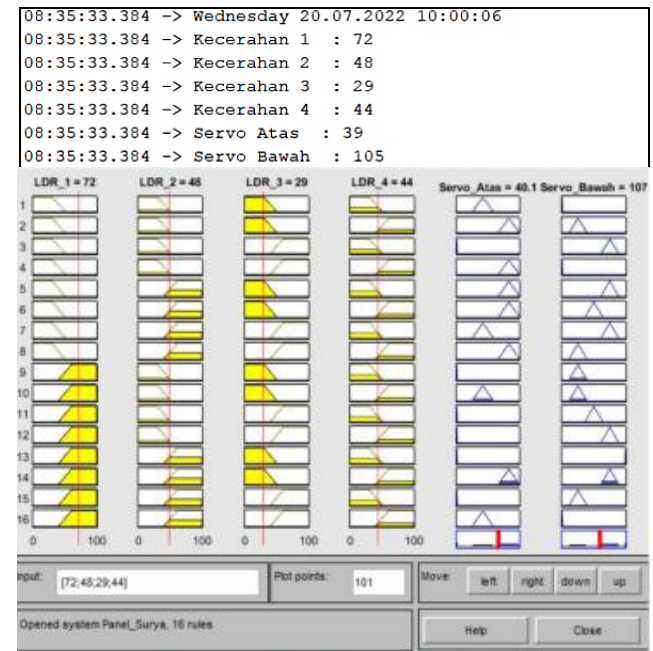


Gambar 15. Pengujian 2 Pembacaan LDR dan Motor Servo pada Arduino IDE dan Matlab

Servo motor atas pada program FLC di Arduino menunjukkan 35 derajat sedangkan di matlab menunjukkan 36,1 derajat. Servo motor bawah pada program FLC di Arduino menunjukkan 92 derajat dan di Matlab menunjukkan 93.9. Perbedaan output servo motor antara Arduino dan Matlab sebesar 1,1-1,9 Derajat. Hasil optimal dengan memisalkan LDR 1 = 70, LDR2 = 47, LDR3 = 28, LDR4 = 43, maka output servo atas 36,1 dan servo bawah 93,9.

2) Hasil Pengujian ke-2 Program Fuzzy Logic Control, pada Gambar 15.

3) Hasil Pengujian ke-3 Program Fuzzy Logic Control, pada Gambar 16.



Gambar 16. Pengujian 3 Pembacaan LDR dan Motor Servo pada Arduino IDE dan Matlab

Data besar simpangan dari ketiga pengujian pada Gambar 16 adalah seperti pada Tabel 1.

Tabel 1. Perbandingan Hasil Pengujian Pembacaan LDR dan Motor Servo pada Arduino IDE dan Matlab

Pengujian	Arduino		Matlab		Simpangan	
	Servo Atas	Servo Bawah	Servo Atas	Servo Bawah	Servo Atas	Servo Bawah
Pengujian Ke-1	35	92	36,1	93,9	1,1	1,9
Pengujian Ke-2	43	119	44,2	121	1,2	2
Pengujian Ke-3	39	105	40,1	107	1,1	2
Rata – Rata Simpangan					<b>1,13</b>	<b>1,97</b>

Dari data Tabel 1, didapatkan bahwa rata – rata simpangan pada servo atas sebesar 1,13° dan rata – rata simpangan/error pada servo bawah sebesar 1,97°.

### 3.3 Pengujian Arus dan Tegangan

#### 3.3.1 Pengujian Arus

Proses pengujian dari alat solar tracking dengan menggunakan kendali *Fuzzy Logic Control* sangat dipengaruhi oleh kondisi cuaca. Pengujian arus bertujuan untuk mengetahui arus yang keluar dari Photovoltaic. Spesifikasi Photovoltaic 20 WP menghasilkan arus maksimal 1,095 A ketika terhubung dengan MPPT. Pembacaan arus dipengaruhi oleh kondisi cuaca, suhu, dan intensitas cahaya matahari.

Tabel 2. Hasil Pengujian Arus

No	Waktu (WIB)	Pengambilan Data Arus					
		Data Ke-1		Data Ke-2		Data Ke-3	
		FLC (A)	Statis (A)	FLC (A)	Statis (A)	FLC (A)	Statis (A)
1	8:00	0,40	0,22	0,40	0,13	0,40	0,30
2	8:30	0,40	0,16	0,70	0,38	0,80	0,50
3	9:00	0,42	0,30	0,89	0,69	0,80	0,80
4	9:30	0,40	0,30	0,90	0,62	0,90	0,89
5	10:00	0,44	0,40	0,91	0,72	0,82	0,76
6	10:30	0,91	0,70	0,90	0,75	0,81	0,81
7	11:00	0,53	0,38	0,91	0,74	0,90	0,69
8	11:30	0,82	0,30	0,91	0,71	0,92	0,45
9	12:00	0,96	0,28	0,90	0,70	0,92	0,65
10	12:30	0,40	0,40	0,87	0,73	0,87	0,81
11	13:00	0,85	0,70	0,65	0,71	0,60	0,59
12	13:30	0,31	0,35	0,60	0,46	0,50	0,53
13	14:00	0,82	0,57	0,84	0,70	0,70	0,40
14	14:30	0,59	0,88	0,88	0,67	0,60	0,50
15	15:00	0,78	0,67	0,45	0,36	0,50	0,40
16	15:30	0,41	0,62	0,47	0,16	0,40	0,16
17	16:00	0,40	0,60	0,40	0,20	0,40	0,15
Nilai Min		0,31	0,16	0,40	0,13	0,40	0,15
Nilai Maks		0,96	0,88	0,91	0,75	0,92	0,89
Rata - Rata		0,58	0,46	0,74	0,55	0,70	0,55
Kinerja Optimal		52,9%	42,1%	67,6%	50,7%	63,6%	50,4%
Arus pada FLC		0,672 A		Atau		61,3 % dari 1,095 A	
Arus pada Statis		0,523 A		Atau		47,7% dari 1,095 A	

Dari tabel 2, didapatkan bahwa kinerja Photovoltaic dengan *fuzzy logic control* lebih optimal 28,49% dibandingkan dengan Photovoltaic statis.

#### 3.3.2 Pengujian Tegangan

Pada Tabel 3 pengukuran tegangan, didapatkan bahwa tegangan yang dihasilkan oleh Photovoltaic *Fuzzy Logic Control* adalah 13,812 V atau 76% dari spesifikasi Photovoltaic 20Wp.

Sedangkan Photovoltaic statis menghasilkan tegangan 13,64 Vdc atau 75% dari spesifikasi Photovoltaic 20 Wp. Maka Photovoltaic dengan fuzzy logic control lebih optimal 1,32%.

#### 3.3.3 Pengujian Daya

Daya adalah jumlah energi yang diserap atau dihasilkan dalam sebuah rangkaian. Sumber energi seperti tegangan listrik akan menghasilkan daya listrik sedangkan beban yang terhubung dengannya akan menyerap daya listrik tersebut. Daya maksimal yang digunakan pada Photovoltaic 20 Wp sebesar 20 Watt sesuai spesifikasi. Data daya yang keluar dapat dilihat pada Tabel 4.

Dari Tabel 4 pengukuran daya diatas, didapatkan bahwa daya pada FLC adalah 9,363 W atau setara dengan 46,82% dari spesifikasi Photovoltaic 20 WP dan 7,247 W

atau 36,23% dari spesifikasi Photovoltaic 20 WP. Maka Photovoltaic dengan sistem *Fuzzy Logic Control* lebih optimal 29,2% dari Photovoltaic statis.

Tabel 3. Hasil Pengujian Tegangan

No	Waktu (WIB)	Pengambilan Data Tegangan					
		Data Ke-1		Data Ke-2		Data Ke-3	
		FLC	Statis	FLC	Statis	FLC	Statis
1	8:00	12,66	12,45	16,90	11,75	12,66	11,75
2	8:30	12,77	12,90	13,20	14,47	12,77	12,45
3	9:00	13,02	13,24	13,48	14,34	13,04	12,90
4	9:30	12,99	13,12	14,50	15,90	13,01	12,88
5	10:00	13,04	12,88	14,57	14,64	15,07	13,10
6	10:30	13,65	13,45	14,65	14,71	13,82	15,07
7	11:00	13,42	13,76	15,60	16,55	14,00	13,82
8	11:30	13,67	14,40	14,07	16,01	13,37	14,00
9	12:00	14,82	14,50	13,80	15,50	14,02	13,37
10	12:30	13,34	14,10	14,26	14,44	14,03	14,02
11	13:00	13,44	13,89	13,33	13,07	13,05	14,03
12	13:30	12,98	12,50	13,14	13,07	13,14	13,05
13	14:00	14,85	14,45	15,20	13,78	15,17	12,88
14	14:30	13,60	13,40	15,13	14,56	15,14	12,75
15	15:00	16,01	14,87	13,20	13,33	13,20	12,60
16	15:30	13,56	13,40	13,14	12,70	13,14	12,50
17	16:00	13,47	13,40	13,18	12,60	13,14	12,45
Nilai Min		12,66	12,45	13,14	11,75	12,66	11,75
Nilai Maks		16,01	14,87	16,90	16,55	15,17	15,07
Rata - Rata		13,61	13,57	14,20	14,20	13,63	13,15
Kinerja Optimal		74,8%	74,6%	78,0%	78,0%	74,9%	72,3%
Tegangan di FLC		13,82 V		Atau		76% dari 18,2 Vdc	
Tegangan di Statis		13,64 V		Atau		75% dari 18,2 Vdc	

Tabel 4. Hasil Pengujian Daya

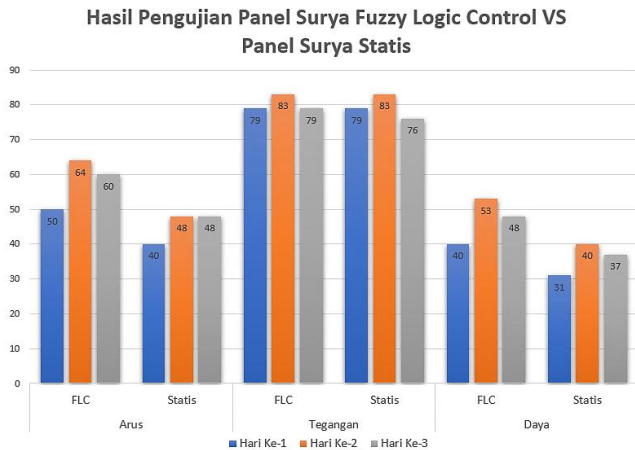
No	Waktu (WIB)	Data Daya					
		Data Ke-1		Data Ke-2		Data Ke-3	
		FLC	Statis	FLC	Statis	FLC	Statis
1	8:00	5,06	2,74	6,76	1,53	5,06	3,53
2	8:30	5,11	2,06	9,24	5,50	10,22	6,23
3	9:00	5,47	3,97	12,00	9,89	10,43	10,32
4	9:30	5,20	3,94	13,05	9,86	11,71	11,46
5	10:00	5,74	5,15	13,26	10,54	12,36	9,96
6	10:30	12,42	9,42	13,19	11,03	11,19	12,21
7	11:00	7,11	5,23	14,20	12,25	12,60	9,54
8	11:30	11,21	4,32	12,80	11,37	12,30	6,30
9	12:00	14,23	4,06	12,42	10,85	12,90	8,69
10	12:30	5,34	5,64	12,41	10,54	12,21	11,36
11	13:00	11,42	9,72	8,66	9,28	7,83	8,28
12	13:30	4,02	4,38	7,88	6,01	6,57	6,92
13	14:00	12,18	8,24	12,77	9,65	10,62	5,15
14	14:30	8,02	11,79	13,31	9,76	9,08	6,38
15	15:00	12,49	9,96	5,94	4,80	6,60	5,04
16	15:30	5,56	8,31	6,18	2,03	5,26	2,00
17	16:00	5,39	8,04	5,27	2,52	5,26	1,87
Nilai Min		4,02	2,06	5,27	1,53	5,06	1,87
Nilai Maks		14,23	11,79	14,20	12,25	12,90	12,21
Rata - Rata		8,00	6,29	10,55	8,08	9,54	7,37
Kinerja Optimal		40,0%	31,5%	52,7%	40,4%	47,7%	36,8%
Daya pada FLC		9,363 W		Atau		46,82% dari 20 W	
Daya pada Statis		7,247 W		Atau		36,23% dari 20 W	

#### 3.3.4 Hasil Perbandingan Photovoltaic FLC dan Photovoltaic Statis

Dari pengambilan data selama 3 hari, didapatkan bahwa Photovoltaic tracking system dengan *Fuzzy Logic Control* mempunyai daya yang dihasilkan lebih optimal 29,2% kinerjanya dibandingkan Photovoltaic statis. Terdapat pada gambar 17 untuk memudahkan pembacaan hasil uji coba Photovoltaic tracking system dengan *Fuzzy*



*Logic Control* dan Photovoltaic statis. Terlihat pada tabel 4 dan gambar 17 bahwa daya keluaran yang dihasilkan oleh photovoltaic FLC lebih tinggi dibandingkan dengan photovoltaic statis. Misal pada data ke-1 yaitu pukul 08.00 yang yang dihasilkan photovoltaic FLC adalah 5,06 Watt, sedangkan daya yang dihasilkan photovoltaic statis adalah 2,72 watt. Berdasarkan data hasil pengujian tersebut bahwa photo voltaic FLC lebih efisien dalam menghasilkan daya keluaran.



Gambar 17. Hasil Pengujian Photovoltaic FLC dan Photovoltaic Statis

### 3.1 Pengujian RTC (Real Time Clock)

Pengujian RTC bertujuan untuk menguji RTC bekerja saat sensor LDR membaca nilai ADC kurang dari 30% maka RTC akan mengambil data pada hari kemarin untuk menjalankan aktuator motor servo. Menjalankan sistem RTC membutuhkan modul SD card yang berfungsi untuk menyimpan data sensor LDR dan pembacaan sudut motor servo yang diproses pada sistem kendali *Fuzzy Logic Control* pada hari kemarin saat kondisi cuaca cerah dengan sensor LDR membaca nilai ADC bernilai lebih dari 30%. Modul SD Card memiliki keterbatasan ruang penyimpanan sehingga percobaan dilakukan pada pukul 08.00 WIB sampai dengan 16.00 WIB. Berikut pembuktian RTC:

#### 3.4.1 Pengujian RTC Saat Membuka File

Pada pengujian ini membuktikan bahwa RTC bekerja dengan baik untuk menyimpan data sebagai input menjalankan aktuator motor servo pada saat cuaca mendung dalam artian sensor LDR mendeteksi sinar matahari sebesar kurang dari 30%. Dapat dilihat pada Gambar 17.

```
08:27:37.754 ->
08:27:37.754 ->          Berhasil Buat File
08:27:37.754 ->          File yg dibuat: 1001 ----> 43;103
08:27:41.041 ->
08:27:41.041 -> -----
08:27:41.136 ->
08:27:41.136 -> Wednesday 20.07.2022 10:01:01
08:27:41.136 -> Kecerahan 1 : 40
08:27:41.136 -> Kecerahan 2 : 48
08:27:41.136 -> Kecerahan 3 : 29
08:27:41.183 -> Kecerahan 4 : 44
08:27:41.183 -> Servo Atas : 43
08:27:41.183 -> Servo Bawah : 103
```

Gambar 18. Pengujian RTC saat Membuat File

#### 3.4.2 Pengujian RTC Saat Memori SD Card Tidak Terdeteksi

Pengujian RTC saat memori SD Card tidak terdeteksi karena terjadi karena memori tidak terpasang dengan baik menjadikan memori tidak terdeteksi dan SD Card tidak dapat bekerja untuk menyimpan data sebagai input menjalankan aktuator motor servo. Dapat dilihat Pada Gambar 19.

```
08:31:24.464 -> Memory Tidak Terdeteksi
08:31:26.571 ->
08:31:26.571 -> Wednesday 20.07.2022 10:00:06
08:31:26.617 -> Kecerahan 1 : 70
08:31:26.617 -> Kecerahan 2 : 47
08:31:26.617 -> Kecerahan 3 : 28
08:31:26.617 -> Kecerahan 4 : 43
08:31:26.617 -> Servo Atas : 35
08:31:26.617 -> Servo Bawah : 92
08:31:26.617 ->
08:31:26.617 -> -----
```

Gambar 19. Pengujian RTC saat Memori Tidak Terdeteksi

#### 3.4.3 Pengujian RTC Ketika Mendung

Pengujian RTC dalam kondisi cuaca mendung dikarenakan sensor LDR mendeteksi sinar matahari kurang dari 30%. RTC akan menjalankan aktuator motor servo menggunakan data kemarin yang dihasilkan dan disimpan pada saat kondisi cuaca cerah. Dapat dilihat pada Gambar 20.

```
08:29:11.804 -> Wednesday 20.07.2022 10:02:35
08:29:11.804 -> Kecerahan 1 : 3
08:29:11.804 -> Kecerahan 2 : 11
08:29:11.804 -> Kecerahan 3 : 12
08:29:11.804 -> Kecerahan 4 : 11
08:29:11.804 -> Servo Atas : 25
08:29:11.804 -> Servo Bawah : 0
08:29:11.804 ->
08:29:11.804 -> Keadaan Mendung ---> Mengambil Data Kemarin
08:29:11.804 -> File yg dibuka : 1002 --->
08:29:11.804 -> Servo Atas Kemarin: 0
08:29:11.804 -> Servo Bawah Kemarin: 0
```

Gambar 20. Pengujian RTC saat Mendung

## 4. Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan dan dari data-data yang didapatkan, maka dapat ditarik beberapa kesimpulan sebagai berikut. Arus rata – rata yang dihasilkan oleh *Photovoltaic tracking system* sebesar 0,672 A dan pada Photovoltaic statis sebesar 0,523 A, maka *Photovoltaic tracking system* memiliki arus yang lebih optimal 28,49% dari pada Photovoltaic statis. Tegangan yang dihasilkan oleh *Photovoltaic tracking system* sebesar 13,82 V dan pada Photovoltaic statis sebesar 13,63 V, maka *Photovoltaic tracking system* lebih optimal 1,32% dari pada Photovoltaic statis. *Photovoltaic tracking system* menggunakan *Fuzzy Logic Control* dengan 16 aturan logika fuzzy terbukti lebih optimal dari pada Photovoltaic statis dengan pemasangan sudut 30°. Penggunaan RTC pada *Photovoltaic tracking system* bekerja sesuai dengan yang diharapkan. Ketika cuaca mendung maka RTC akan mengambil data hari kemarin pada jam yang sama di data yang tersimpan pada SD Card hal ini dapat meningkatkan efisiensi daya listrik yang dihasilkan. Daya yang dihasilkan oleh *Photovoltaic tracking system* adalah 9,363 Watt dan *Photovoltaic statis* sebesar 7,24 W. maka *Photovoltaic tracking system* lebih optimal 29,2% dari pada *Photovoltaic statis*.



## Ucapan Terimakasih

Ucapan terimakasih kepada Jurusan Teknik Elektronika Politeknik Negeri Cilacap yang telah memfasilitasi peralatan dan bahan-bahan laboratorium untuk melakukan penelitian ini.

## Daftar Pustaka

- [1] D. Septiadi, P. Nanlohy, M. Souissa, and F. Y. Rumlawang, "PROYEKSI POTENSI ENERGI SURYA SEBAGAI ENERGI TERBARUKAN (STUDI WILAYAH AMBON DAN SEKITARNYA)," *J. Meteorol. dan Geofis.*, vol. 10, no. 1, Jul. 2009, doi: 10.31172/jmg.v10i1.30.
- [2] Agoeng H Rahardjo, Bambang Puguh, and Hani Aprianti Solihah, "PEMANFAATAN SUMBER ENERGI TERBARUKAN MELALUI PEMBUATAN PENERING HIBRID SURYA-BIOMASSA PADA PENERINGAN BIJI KOPI," *J. Tek. Energi*, vol. 4, no. 1, pp. 304–310, Feb. 2020, doi: 10.35313/energi.v4i1.1755.
- [3] R. Rahman, "Analisis Perencanaan Pembangkit Listrik Tenaga Surya Offgrid Untuk Rumah Tinggal Di Kota Banjarbaru," *J. EEICT (Electric, Electron. Instrumentation, Control. Telecommun.)*, vol. 4, no. 1, Apr. 2021, doi: 10.31602/eeict.v4i1.4540.
- [4] EBTKE, "Menteri Arifin: Transisi Energi Mutlak Diperlukan," *Dirjen EBTKE Kementrian ESDM*, 2020. <https://ebtke.esdm.go.id/post/2020/10/22/2667/menteri.arifin.transisi.energi.mutlak.diperlukan?lang=en>.
- [5] S. S. Yatmani, "Sistem kendali Solar Tracker Untuk Meningkatkan efisiensi Daya," *J. Tek. Mesin ITI*, vol. 4, no. 1, 2020, doi: 10.31543/jtm.v4i1.354.
- [6] G. B. Ardina, "Rancang Bangun Dual Axis Solar Tracker Pembangkit Listrik Tenaga Surya Berbasis Mikrokontroler Arduino Uno," *Semin. Has. Elektro SI ITN Malang*, vol. 1, no. 1, 2019.
- [7] S. A. Kurniawan and M. Taufik, "RANCANG BANGUN SOLAR TRACKER SUMBU TUNGGAL BERBASIS MOTOR STEPPER DAN REAL TIME CLOCK," *J. Ilm. Teknol. dan Rekayasa*, vol. 26, no. 1, 2021, doi: 10.35760/tr.2021.v26i1.3685.
- [8] T. C. Wang and S. Y. Tsai, "Solar panel supplier selection for the photovoltaic system design by using fuzzy multi-criteria decision making (MCDM) approaches," *Energies*, vol. 11, no. 8, 2018, doi: 10.3390/en11081989.
- [9] A. R. Al Tahtawi, "Kendali Posisi Motor DC Menggunakan Logika Fuzzy Interval Tipe 2," *TELKA - Telekomun. Elektron. Komputasi dan Kontrol*, vol. 7, no. 1, 2021, doi: 10.15575/telka.v7n1.1-10.
- [10] R. F. Amirudin and I. Winarno, "Rancang Bangun Sistem Penjejak Matahari Satu Sumbu (Axis) Menggunakan Metode Fuzzy Logic Untuk Optimalisasi Daya," *J. Tek. Elektro dan Komput. TRIAC*, vol. 5, no. 1, 2018, doi: 10.21107/triac.v5i1.3684.
- [11] M. N. Ali, K. Mahmoud, M. Lehtonen, and M. M. F. Darwish, "An Efficient Fuzzy-Logic Based Variable-Step Incremental Conductance MPPT Method for Grid-Connected PV Systems," *IEEE Access*, vol. 9, 2021, doi: 10.1109/ACCESS.2021.3058052.
- [12] C. R. Algarín, R. L. Fuentes, and A. O. Castro, "Implementation of a cost-effective fuzzy MPPT controller on the Arduino board," *Int. J. Smart Sens. Intell. Syst.*, vol. 11, no. 1, 2018, doi: 10.21307/ijssis-2018-002.
- [13] W. A. Wicaksono and L. M. Silalahi, "Rancang Bangun Alat Pendeteksi Banjir Menggunakan Arduino Dengan Metode Fuzzy Logic," *J. Teknol. Elektro*, vol. 11, no. 2, 2020, doi: 10.22441/jte.2020.v11i2.005.
- [14] A. Deshmukh, P. Devmane, R. Ambekar, P. Piyush, and M. N. Patil, "Automated Dual Axis Sun Tracking Solar Panels based on LDR and RTC Sensor," *Int. J. Eng. Res. Technol. www.ijert.org*, vol. 10, no. 04, 2021.
- [15] A. Sharma, P. Kumar, G. Ghangas, V. Gupta, H. Sharma, and C. Sharma, "Comparison of open circuit voltage generated by tracking solar panel and static solar panel using arduino board," *Int. J. Eng. Sci. Technol.*, vol. 12, no. 2, 2020, doi: 10.4314/ijest.v12i2.9.