

# PANEL PV BERPENJEJAK SINGLE AXIS MENGUNAKAN KENDALI FUZZY LOGIC

Pandu Sudibyo<sup>1</sup>, Yanu Shalahuddin<sup>2</sup>, Mochtar Yahya<sup>3</sup>

<sup>1,2,3</sup>Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Islam Kediri Kediri

E-mail: \*<sup>1</sup>[pandux1@yahoo.com](mailto:pandux1@yahoo.com), <sup>2</sup>[yanu@uniska-kediri.ac.id](mailto:yanu@uniska-kediri.ac.id), <sup>3</sup>[mochtaryahya@uniska-kediri.ac.id](mailto:mochtaryahya@uniska-kediri.ac.id)

**Abstrak** – Panel PV (*Photovoltaic*) merupakan teknologi yang mengubah energi cahaya matahari menjadi energi listrik. Maka dari itu untuk mendapatkan iradiansi maksimal perlu sistem *solar tracker* sebagai cara untuk optimalisasi penyerapan cahaya matahari. Pada penelitian ini membahas pembuatan model *simulink solar tracker* menggunakan kontroler *fuzzy logic*. Arah sinar matahari disensor menggunakan 2 buah sensor LDR (*Light Dependent Resistor*) yang selanjutnya menjadi input logika fuzzy. Sistem terdiri atas 4 komponen utama yaitu PV Modul, Mikrokontroler, motor servo, sensor LDR (*Light Dependent Resistor*) yang selanjutnya menjadi input logika fuzzy. *Output* logika fuzzy berupa nilai yang kemudian diumpun ke servo untuk gerakan panel secara *Single Axis*. Aplikasi Matlab Simulink sebagai *compiler* dan pembuat permodelan sistem yang nantinya akan diupload ke mikrokontroler. Arah putaran motor servo ditentukan dengan menggunakan kendali logika *fuzzy*. Hasil pengujian membuktikan rata-rata tegangan panel PV lebih tinggi daripada panel tanpa kendali, dengan nilai rata-rata sebesar 14,35V.

**Kata Kunci** — *logika fuzzy, mikrokontroler, matlab/simulink, PV modul*

**Abstract** – PV (*Photovoltaic*) panels are a technology that converts irradiance into electrical energy. Therefore to get the maximum irradiance a solar tracker system is needed as a way to optimize the absorption of sunlight. This research discusses the making of a *simulink solar tracker* model using a *fuzzy logic* controller. The direction of the sunlight is censored using 2 LDR (*Light Dependent Resistor*) sensors which then become *fuzzy logic* inputs. The system consists of 4 main components, namely PV module, microcontroller, servo motor, LDR sensor which then becomes *fuzzy logic* input. *Fuzzy logic* output is a value which is then fed to the servo for *Single Axis* panel movement. Matlab Simulink application as a *compiler* and system modeling maker which will later be uploaded to the microcontroller. Direct rotation of the servo motor is determined using *fuzzy logic* controls. The test results prove the average PV panel voltage is higher than the panel without control, with an average value of 14.35V.

**Keywords** — *fuzzy logic, microcontroller, matlab/simulink, PV Modul*

## 1. PENDAHULUAN

Dalam upaya pemanfaatan potensi energi surya digunakan panel PV (*Photovoltaic*). Seperti fungsinya panel PV dapat mengkonversi iradiansi matahari menjadi energi listrik. Ini dilakukan karena kebutuhan masyarakat akan listrik semakin meningkat, seiring perkembangan masyarakat.

Konversi potensi tersinari rata – rata 4,5 – 4,8 kWh/m<sup>2</sup>/hari di Indonesia. Sehingga energi surya menjadi salah satu energi baru terbarukan yang potensial untuk dikembangkan [1]. Besarnya daya keluaran yang dihasilkan oleh panel surya dipengaruhi oleh kondisi lingkungan sekitar dimana sebuah panel surya dipasang [2]. Untuk menunjang kebutuhan tersebut dirancangkan suatu sistem agar kondisi panel PV selalu mengikuti arah datang sinar matahari. Ini dilakukan agar iradiasi yang diserap panel lebih baik, maka beberapa penelitian membuat sistem panel PV berpenjak/biasa disebut *solar tracker* yang seperti fungsinya yaitu menjejak berkas sinar matahari.

Beberapa penelitian dibuat sebuah sistem yang dapat menggerakkan posisi panel surya agar tegak lurus terhadap arah datangnya sinar matahari. Sistem ini terdiri dari 3 komponen utama yaitu rangkaian sensor cahaya LDR, mikrokontroler dan motor DC gearbox dengan driver L298N. Arah dan besar putaran dari motor DC gearbox ditentukan dengan menggunakan logika fuzzy dengan

metode FLC (Fuzzy Logic Controller) [3]. Juga meneliti menggunakan pengontrol pada percobaannya dengan mengimplementasikan logika fuzzy. Logika fuzzy merupakan logika yang dapat mengatasi keadaan ambiguitas. Dengan mengimplementasikan logika tersebut. Pada penelitian ini juga akan dibandingkan efisien sistem pelacak surya menggunakan logika fuzzy dengan sistem konvensional panel surya posisi diam [4]. Dari beberapa hasil simulasi terlihat bagus dan performa bisa dikatakan layak, FLC model Triangle digunakan untuk pembentukan membership function karena dirasa mudah diimplementasikan [5]. Dari banyak penelitian tersebut hanya menggunakan program arduino IDE sebagai komponen utama maka perlu suatu rancangan baru agar diketahui seberapa baik performa yang dihasilkan.

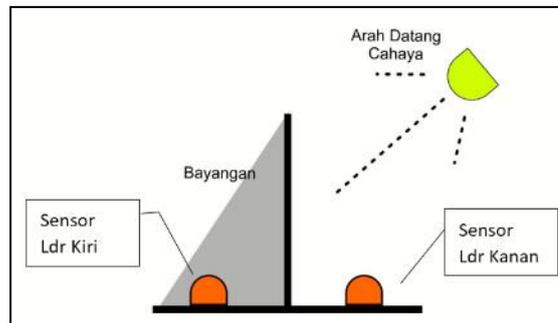
Berdasarkan penelitian yang telah disebutkan diatas, maka dalam paper ini diusulkan untuk merancang suatu alat panel PV berpenjejak dengan kendali fuzzy logic yang bergerak single axis juga menggunakan matlab/simulink sebagai pengganti program arduino IDE dan sebagai pembuat kendali FLC.

## 2. METODE PENELITIAN

### 2.1. Sensor LDR

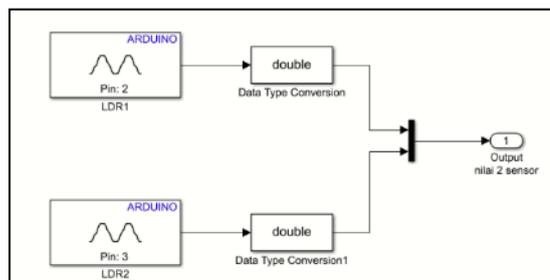
Sensor LDR (*Light Dependent Resistor*) merupakan perangkat semikonduktor yang akan bereaksi atau berubah-ubah nilai tahanannya sesuai gelap atau terang cahaya yang ditangkap oleh permukaan sensor LDR.

Dalam pemanfaatannya di penelitian ini pengambilan data sensor yakni dengan memberi sekat pada 2 sensor LDR, jadi saat LDR kanan terkena cahaya maka LDR kiri pada sisi lain akan tertutup bayangan. Dari sini maka bisa diambil data perbedaan 2 nilai sensor.



Gambar 1. Model Arah Datang Sinar Terhadap Sensor

Data yang diambil merupakan hasil pembacaan nilai analog sensor LDR yang sudah masuk ke pin ADC mikrokontroler dan terkonversi dalam data digital bernilai 0-1023 dalam desimal. Nilai kedua sensor inilah yang kemudian akan diolah dan dimasukkan sebagai input FLC.



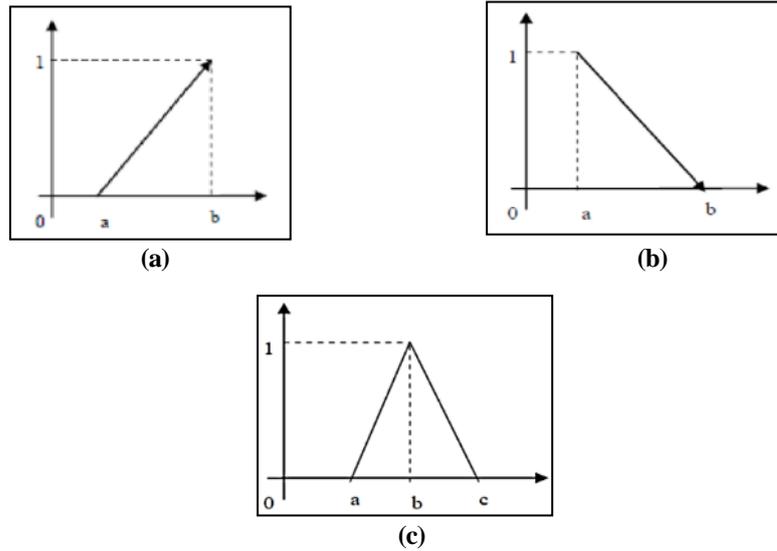
Gambar 2. Blok Proses Pengambilan Data

Pada simulink digunakan *toolbox* arduino sebagai inialisasi pin analog. Terlihat pada gambar 2, bahwa 2 *input* akan digunakan sebagai variabel *input* logika fuzzy.

2.2. Sensor LDR

2.2.1. Fungsi Keanggotaan

Fungsi keanggotaan (*membership function*) adalah suatu kurva yang menunjukkan pemetaan titik-titik input data ke dalam nilai keanggotaan yang memiliki interval antara 0 sampai 1. Fungsi-fungsi keanggotaan antara lain:



Gambar 3. Fungsi-fungsi Keanggotaan

Fungsi keanggotaan seperti gambar (a), merupakan bentuk fungsi keanggotaan linier naik. Artinya tiap fungsi linier memetakan input ke derajat keanggotaanya yang digambarkan dalam bentuk garis linier naik.

Berikut persamaan fungsinya :

$$\mu(x) = \begin{cases} 0 & ; x < a \\ \frac{x-a}{b-a} & ; a \leq x \leq b \\ 1 & ; x > b \end{cases} \dots\dots\dots(1)$$

Lalu gambar (b) adalah fungsi keanggotaan linier turun. Seperti padagambar (a) yang menjadi pembeda hanya pada bentuk garis linier yang turun dan menunjukan nilai derajat keanggotaanya.

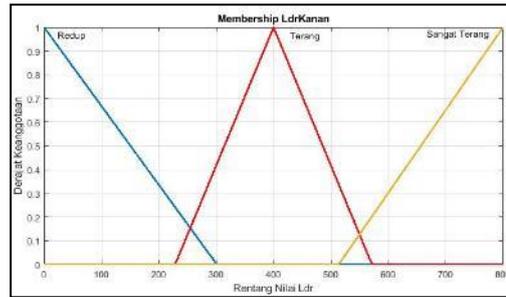
Berikut persamaan fungsi keanggotaanya:

$$\mu(x) = \begin{cases} 1 & ; x < a \\ \frac{b-x}{b-a} & ; a \leq x \leq b \\ 0 & ; x > b \end{cases} \dots\dots\dots(2)$$

Gambar (c) merupakan fungsi keanggotaan kurva segitiga. Pada dasarnya terbentuk dari gabungan antara garis linier. Persamaan fungsi keanggotaan yang merepresentasikan kurva segitiga yakni:

$$\mu(x) = \begin{cases} 0; & x \leq a \text{ atau } x \geq c \\ \frac{(x-a)}{(b-a)}; & a \leq x \leq b \\ \frac{(c-x)}{(c-b)}; & b \leq x \leq c \end{cases} \dots\dots\dots (3)$$

Berdasar hasil pengambilan sampel data LDR dan fungsi keanggotaan maka dibuat keanggotaan Ldr Kanan, Ldr Kiri, dan Servo (*Output*) dalam *Singleton*. Berikut pembentukan parameter tiap keanggotaan:



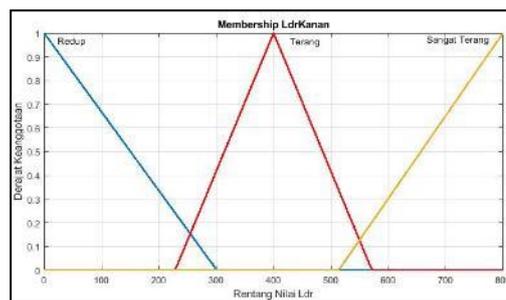
Gambar 4. Fungsi Keanggotaan LDR Kanan

Pada gambar 4 dibuat 3 keanggotaan Ldr Kanan, yaitu **Redup**, **Terang**, **Sangat Terang**. Berikut detail keanggotaan dan tipe variabelnya beserta domain yang digunakan.

Tabel 1. Fungsi keanggotaan LDR Kanan

No	Nama Keanggotaan	Tipe Variabel	Domain
1	Redup	<i>Trimf</i> (Segitiga)	[-320 0 300.9]
2	Terang	<i>Trimf</i>	[229 400 571]
3	Sangat Terang	<i>Trimf</i>	[513 800 1120]

Pada tabel 1, ditunjukkan bahwa nilai domain tiap variabel keanggotaan berbeda ini diperoleh melalui pencuplikan data yang diambil secara berkala sesuai perpindahan arah matahari. Berikutnya dibuat keanggotaan kedua yaitu Ldr Kiri. Gambar dibawah disajikan hasil pembentukan keanggotaan.



Gambar 5. Fungsi Keanggotaan LDR Kiri

Pada gambar 5 dibuat 3 keanggotaan LDR Kiri, yaitu **Redup**, **Terang**, **Sangat Terang**. Berikut detail keanggotaan dan tipe variabelnya beserta domain yang digunakan.

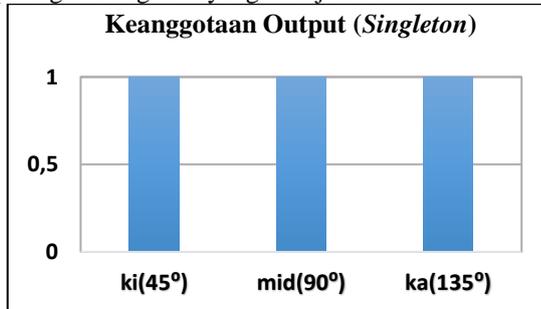
Tabel 2. Fungsi keanggotaan LDR Kiri

No	Nama Keanggotaan	Tipe Variabel	Domain
----	------------------	---------------	--------

1	Redup	<i>Trimf</i> (Segitiga)	[-320 0 300.9]
2	Terang	<i>Trimf</i>	[215 400 584]
3	Sangat Terang	<i>Trimf</i>	[480 800 1120]

Pada tabel 2 dan tabel 1 dapat dilihat bahwa nilai pada tiap domain berbeda ini dikarenakan perbedaan pada selisih pembacaan 2 sensor LDR.

Selanjutnya pada pembentukan fungsi keanggotaan output menggunakan singleton dengan konsekuen konstan. Seperti gambar grafik yang tersaji dibawah:



Gambar 6. Fungsi Keanggotaan Output

Tiap keluaran pada FLC tipe Sugeno orde 0 adalah konstan. Dengan keanggotaan **ki(kiri)[45]**, **mid(middle)[90]**, **ka(kanan)[135]** dalam satuan sudut derajat.:

2.2.2. Operator Dasar

Operator Dasar yang sering dipakai yaitu AND dan OR. Dalam penelitian ini digunakan model Fuzzy tipe Sugeno Orde-Nol. Bentuk umumnya yaitu:

$$\text{IF } (x_1 \text{ is } A_1) \circ (x_2 \text{ is } A_2) \circ (x_3 \text{ is } A_3) \circ \dots \circ (x_N \text{ is } A_N) \text{ THEN } z = k \dots \dots \dots (4)$$

Dengan  $A_i$  adalah himpunan Fuzzy ke- $i$  sebagai *antesenden*, dan  $z$  merupakan *output* yang berupa  $k$  atau nilai konsekuen yang dalam konstan.

2.2.3. Aturan/Rule Base

Aturan/*Rule Base* dibuat untuk memudahkan dalam identifikasi pola yang dibuat. Tiap-tiap aturan (proposisi) pada basis pengetahuan *fuzzy* akan berhubungan dengan suatu relasi *fuzzy*. Bentuk umum dari aturan sugeno orde 0 bisa dilihat pada persamaan (4).

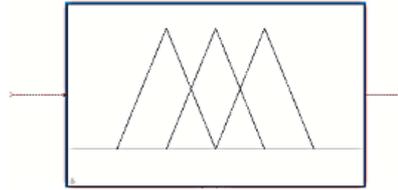
Tabel 3. Rule Base

No	Variabel		Output Servo
	Input LdrKanan	LdrKiri	
1	Redup	Redup	mid
2	Terang	Redup	ka
3	Sangat Terang	Redup	ka
4	Redup	Terang	ki
5	Terang	Terang	mid
6	Sangat Terang	Terang	ka
7	Redup	Sangat Terang	ki
8	Terang	Sangat Terang	ki
9	Sangat Terang	Sangat Terang	ki

Setelah nilai keanggotan masuk pada proses *rule base* maka keluaran akan di *Defuzzyfikasi* kan menggunakan *Weight Average*:

$$W_a = \frac{\mu(k1)z1 + \mu(k2)z2 + \dots}{\mu(k1) + \mu(k2) + \dots} \dots\dots\dots (5)$$

Semua proses ini dibuat/dirancang pada toolbox matlab Simulink.

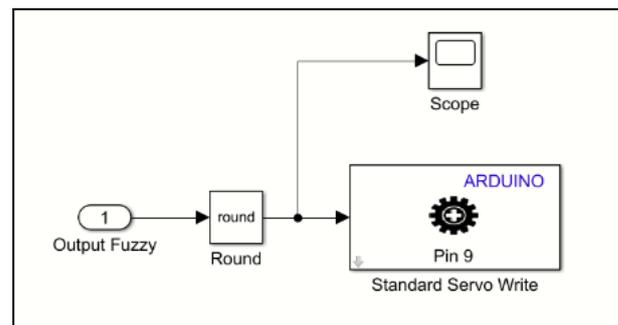


Gambar 7. Toolbox FLC With Ruleviewer

Pembentukan parameter *input, output*, juga fungsi keanggotaan dan *rule* semua dibuat pada *toolbox* pada gambar 7. Maka perlu perhitungan terlebih dahulu agar hasil sesuai dengan perkiraan awal.

### 2.3. Model Blok Output

Blok *Round* berfungsi sebagai blok pembulatan angka pada setiap keluaran. Lalu blok *Scope* digunakan sebagai penampil grafik setiap data keluaran. Dan terakhir blok *Standard Servo Write* yaitu sebagai blok komunikasi antara pin ADC arduino dengan aplikasi.

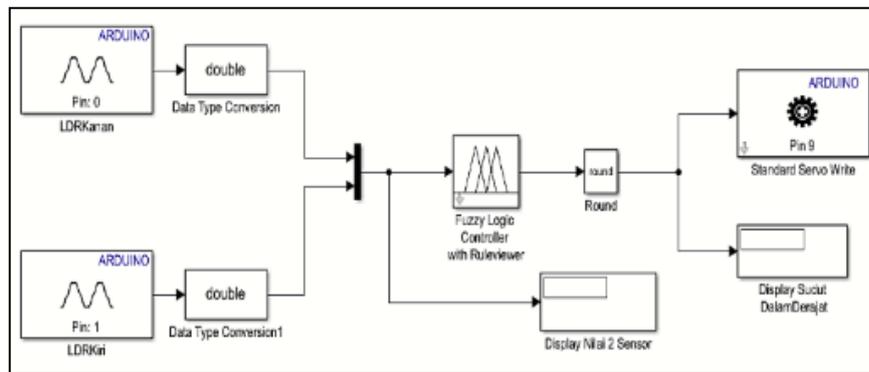


Gambar 8. Blok Output

Blok *output* secara keseluruhan berfungsi sebagai penerima sinyal keluaran dari blok fuzzy lalu mengkonversi menjadi gerak melalui blok servo yang terhubung pin 9 pada ADC mikrokontroler.

### 2.4. Hasil Perancangan Blok Simulink

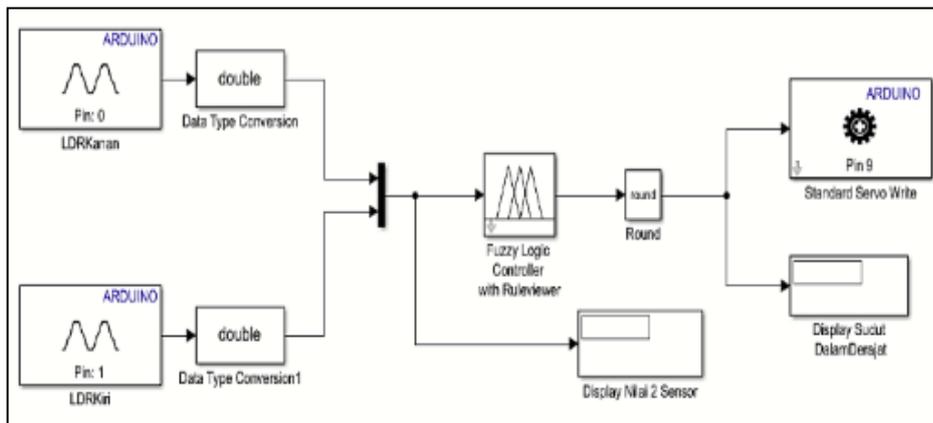
Hasil permodelan pada simulink merupakan model solar tracker dan model penelitian yang sudah dibuat di Matlab Simulink lalu digabungkan. Pada blok ini set point atau nilai input diambil dari 2 perbandingan nilai ldr. Lalu dari nilai itu akan menjadi input pada FLC.



Gambar 9. Kontrol Sistem

Dari gambar 9 *output* dari FLC akan memasuki blok *round* untuk dibulatkan lalu nilai dimasukkan *standart servo write* yang nantinya akan dibaca dan diterjemahkan sebagai gerak servo sesuai nilai sudut yang dihasilkan.

### 2.5. Hasil Perancangan Blok Simulink



Gambar 10. Hasil Perancangan Alat

Ini merupakan hasil implementasi perancangan alat dari bab sebelumnya, bisa dilihat pada gambar 10. Penempatan posisi sensor ldr dipisah dengan perangkat solar tracker karena setelah beberapa pengujian didapatkan posisi terbaik ditaruh dibawah/terpisah. Juga bertujuan agar perangkat solar tracker tidak terganggu. Dan berikut keterangan pada gambar diatas :

- A) Sensor Ldr Kiri
- B) Sensor Ldr Kanan
- C) Aki 12V sebagai sumber suplai
- D) Modul SCC (Solar Charger Control)
- E) Panel Surya 10Wp
- F) Motor Servo 180°.

### 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengujian pada sistem dilakukan untuk melihat apakah model blok pada simulink dapat dicompile langsung dengan arduino sebagai mikrokontroler, lalu servo sebagai actuator apakah sudah mengikuti sumber cahaya matahari sesuai permodelan yang dirancang pada simulink.

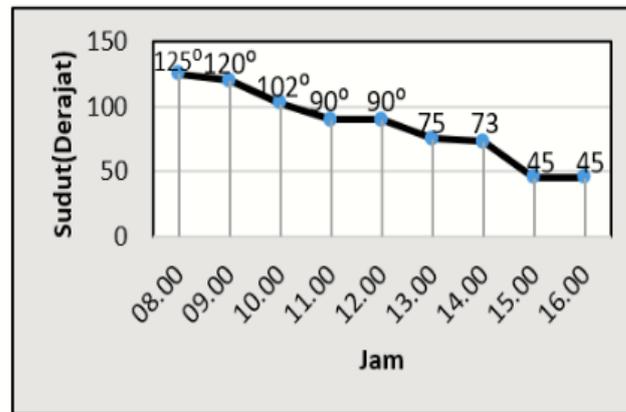
Pengujian mulai dilakukan sekitar pukul 08:00-16:00WIB-selesai. Di Atap Gedung G Uniska Kediri.

Dari tahap ini dilakukan 2 pengujian :

1. Pengujian untuk diketahui sudut keluaran dengan kendali FLC, apakah sudah sesuai dengan aturan/komposisi yang dibuat.
2. Pengujian untuk diketahui perubahan tegangan tiap waktu sesuai pergeseran matahari, menggunakan kendali FLC dan tanpa kendali.

Fase pertama pengujian dilakukan agar diketahui sudut keluaran berdasar parameter dan basis aturan yang telah dibuat, dengan waktu uji mulai pukul 08:00-16:00WIB.

Data uji yang ditampilkan berupa grafik sudut keluaran yang dicuplik perjam.



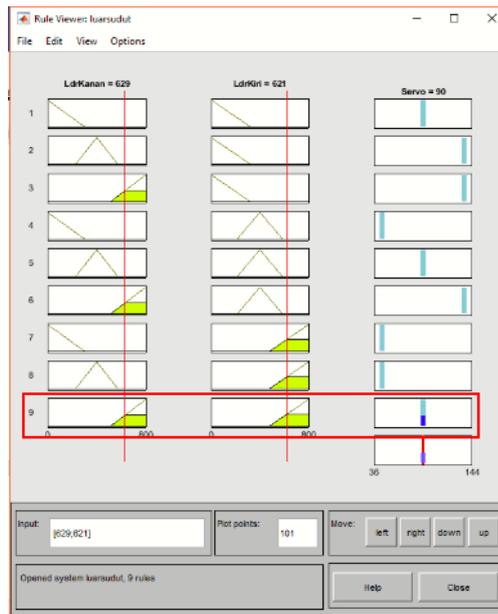
Gambar 11. Sudut Panel Surya

Terlihat pergerakan dari jam 08:00 di sudut 125° karena posisi matahari masih berada pada kanan sensor dan mulai berpindah ke sudut yang lebih kecil seiring pergerakan matahari dari timur ke barat. Dari hasil ini menunjukkan bahwa kendali FLC bekerja.

Juga perlu ditunjukkan perhitungan manual agar diketahui apakah prediksi pergerakan sesuai dengan perhitungan matematis dan apakah terjadi selisih perhitungan, juga agar diketahui proses perhitungan didalam blok kontrol di Simulink. Berikut urutan perhitungan manual :

- 1) Pencarian nilai keanggotaan dan Inferensi FLC dengan metode Min
- 2) Komposisi
- 3) Defuzzifikasi

Berdasar urutan perhitungan diatas maka diambil sampel uji pada pukul 12:00. Dapat dilihat rule viewer yang bekerja realtime sesuai perubahan nilai kedua sensor ldr kanan dan kiri, juga perubahan sudut yang mengikuti. Bisa dilihat pada gambar dibawah.



Gambar 12. Ruleviewer Sudut 90°

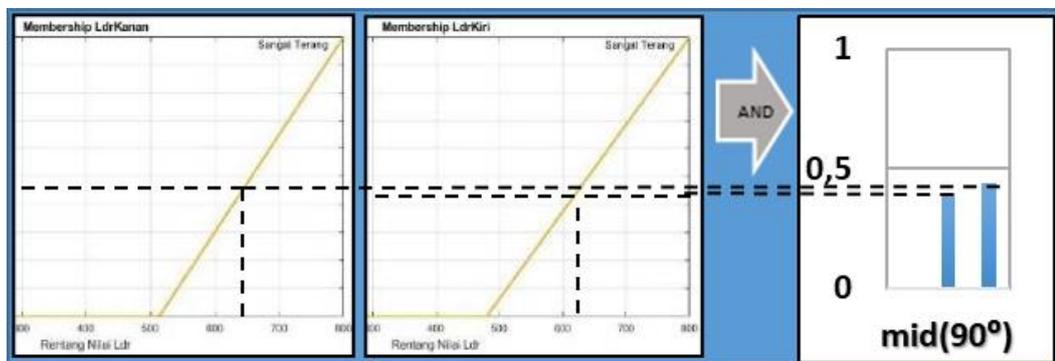
Terlihat nilai LdrKanan 629 dan LdrKiri 621 nilai 2 ldr bisa dikatakan seimbang karena posisi matahari berada tepat pada atas posisi sensor berada. Jadi ldr kiri dan kanan tidak ada bayangan dan timbul nilai yang kemudian menghasilkan sudut. Terlihat pada gambar 12, bahwa rule No.9 bekerja.

Tahap selanjutnya yaitu diperlukan perhitungan manual sesuai tahapan dan urutan diatas. Perhitungan rule No.9, kurva linier yang terbentuk adalah naik, maka :

$$\text{Ldr Kanan(SangatTerang)} = \frac{x - a}{b - a} = \frac{629 - 513}{800 - 513} = 0,40$$

$$\text{Ldr Kiri(SangatTerang)} = \frac{x - a}{b - a} = \frac{621 - 480}{800 - 480} = 0,44$$

Setelah didapat nilai keanggotaan pada tiap variabel diatas, maka komposisikan kedua nilai diatas dengan operator MIN.

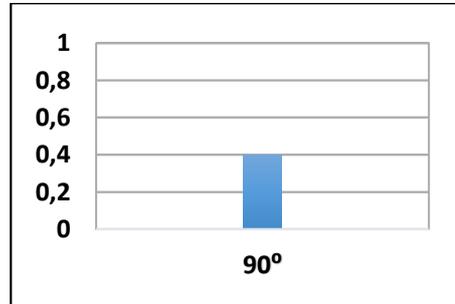


Gambar 13. Nilai Keanggotaan Variabel Sangat Terang dan Sangat Terang

Karena hanya satu rule yang bekerja, maka dari output diatas diambil nilai keanggotaan terkecil karena menggunakan operator dasar Min, yaitu nilai 0,40.

Jadi pada uji ini bisa langsung dihitung defuzzifikasi menggunakan WA, sebagai berikut:

$$W_a = \frac{(0,40)90}{0,40} = 90^\circ$$

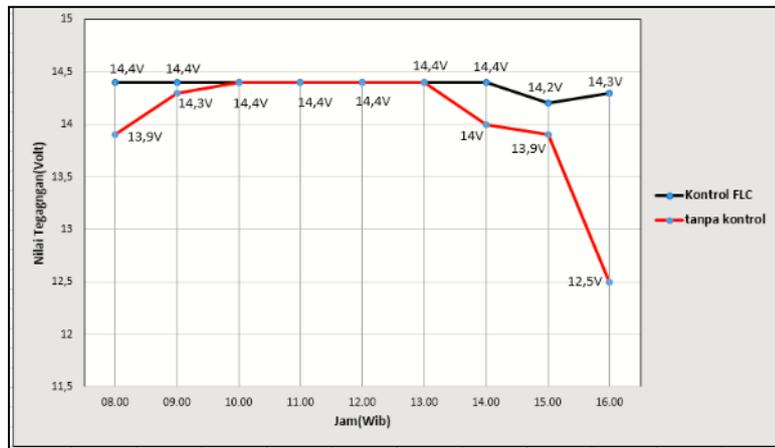


Gambar 14. Hasil *Defuzzikasi* Perhitungan Manual

Hasil diatas sesuai dengan basis aturan yang sudah dibuat, dapat dilihat pada grafik pada gambar 11.

Pengujian berikutnya yaitu pengujian perbedaan hasil tegangan keluaran panel surya dengan kendali FLC dan tanpa kendali.

Pada pengujian ini dilakukan pengamatan dan perbandingan tegangan yang keluar dari SCC sebelum dan sesudah memakai kendali FLC berdasarkan perubahan gerak per jam. Data uji bisa dilihat pada gambar 15.



Gambar 15. Perbandingan Tegangan Keluaran

Warna garis grafik menggunakan kontrol FLC disimbolkan warna hitam, lalu untuk tanpa kontrol warna oren. Saat pengujian dimulai terlihat pada pukul 08:00 tegangan yang dihasilkan dengan kontrol sebesar 14,4V dengan arah panel disudut 125° bisa dilihat pada gambar 4.3, sedangkan tanpa kontrol dinilai 13,9V. Ini karena arah panel tanpa kontrol dihadapkan keatas dan diam sepanjang waktu pengujian.

Seiring berpindahnya sudut panel sesuai jam dan posisi matahari maka dapat dilihat pada grafik tanpa kontrol bahwa nilai tegangan naik menjadi 14,4V sedangkan grafik dengan kontrol stabil pada nilai 14,4V karena sudut perpindahan servo berpindah secara berkala sesuai perbandingan nilai 2 sensor yang diolah FLC. Dan Seterusnya dapat dilihat pada grafik diatas.

Berikut hasil rata-rata tegangan antara sistem solar tracker dengan kendali dan tanpa kendali :

Tabel 4. Perbandingan Tegangan Keluaran Sistem

<i>Jam</i>	<i>Dengan Kendali</i>	<i>Tanpa Kendali</i>
08.00	14,4V	13,9V
09.00	14,4V	14,3V
10.00	14,4V	14,4V
11.00	14,4V	14,4V
12.00	14,4V	14,4V
13.00	14,4V	14,4V
14.00	14,4V	14V
15.00	14,2V	13,9V
16.00	14,3V	12,5
<b>Rata-rata</b>	<b>14,35V</b>	<b>14,0V</b>
<b>Selisih</b>	<b>0,35V</b>	

Dari tabel diatas dapat diketahui bahwa dengan kendali FLC sistem PV berpenjejak menjadi lebih baik dalam penyerapan tegangan keluaran melalui SCC daripada tanpa menggunakan kendali/kontrol.

#### 4. KESIMPULAN

Berdasarkan tahapan – tahapan perancangan, pengujian, dan hasil data yang didapat dari desain dan implementasi panel PV berpenjejak dengan metode fuzzy logic yang telah dilakukan, diperoleh kesimpulan sebagai berikut:

1. Bahwa permodelan dengan matlab simulink versi 2018a mampu berkomunikasi dengan Arduino Uno, dan mampu untuk mengendalikan actuator yaitu Motor Servo 180°.
2. Permodelan kendali FLC tipe sugeno singleton dengan keluaran konstan dapat digunakan dan diimplementasikan, dan pada penelitian ini dengan rentang nilai output [45° 90° 135°] dalam satuan sudut yaitu derajat.
3. Dari hasil uji yang dilakukan didapatkan perbedaan nilai tegangan keluaran dari SCC dengan kendali FLC dan tanpa menggunakan kendali, nilai tegangan yang lebih tinggi didapatkan dari sistem dengan kendali FLC daripada tanpa kendali.

#### DAFTAR PUSTAKA

- [1] Ari Rahayuningtyas, dkk. 2014. "Studi Perencanaan PLTS Skala Rumah Sederhana Di Daerah Pedesaan Sebagai Pembangkit Listrik Alternatif Untuk Mendukung Program Ramah Lingkungan Dan Energi Terbarukan". prosiding SnaPP 2014, ISSN 2089 – 3582
- [2] D. Erwanto, T. Sugiarto, and others, "Sistem Pemantauan Arus Dan Tegangan Panel Surya Berbasis Internet of Things," MULTITEK Indones., vol. 14, no. 1, pp. 1–12, 2020
- [3] As Habul Kahfi, dkk. 2015. "Rancang Bangun istem Kendali Tracking Sinar Matahari dengan Logika Fuzzy". Seminar Nasional Teknologi Informasi dan Komunikasi Terapan (SEMANTIK) 2015, ISBN: 979-26-0280-1.
- [4] Krisna Resi. 2013. "Pembuatan Penggerak Panel Surya untuk Mengikuti Gerak Matahari dengan Menggunakan Logica Fuzzy". Jurusan.Otomasi.Kontrol.Instrumen (J.Auto.Ctrl.Inst), Vol 5 (1), ISSN : 2085-2517.
- [5] M. A. Usta, dkk. 2011. "Design and Performance of Solar Tracking System with Fuzzy Logic Controller Used Different Membership Function". Publication at : <https://www.researchgate.net/publication/241635166> , diakses 27 Juni 2019.

