

DESAIN SISTEM KENDALI DUAL AXIS SOLAR TRACKER BERBASIS FUZZY TYPE 2

Agape Calvin Wahyu Puji Gusti¹, Awan Uji Krismanto², Radimas Putra Muhammad Davi Labib³
Institut Teknologi Nasional, Malang, Indonesia
agacalvin1009@gmail.com¹, awan_uji_krismanto@lecturer.itn.ac.id², radimas@lecturer.itn.ac.id³

Abstrak— Pemanfaatan energi surya sebagai salah satu sumber energi baru terbarukan semakin mendapatkan perhatian luas dalam beberapa dekade terakhir, dikarenakan potensinya dapat mengurangi ketergantungan terhadap penggunaan bahan bakar fosil dalam pembangkitan energi listrik. Namun efisiensi pengumpulan energi surya terus menjadi tantangan, terutama dalam menghadapi variasi intensitas cahaya matahari dan perubahan posisi matahari sepanjang hari. Dalam upaya peningkatan efisiensi energi ini, maka penelitian ini mengusulkan desain sistem kendali dual axis solar tracker berbasis *fuzzy type 2*. Penelitian ini memperkenalkan hal baru dalam mengoptimalkan mentracking posisi matahari dengan menggabungkan perhitungan logika *fuzzy type 2* dengan sistem kendali, penggabungan ini dimaksudkan untuk mengatasi kekurangan sistem kendali untuk mengatasi suatu ketidakpastian dan variasi sistem yang kompleks. Efisiensi pengumpulan energi surya dengan mengoptimalkan sistem *solar tracking* secara real – time. Penelitian ini menunjukkan potensi besar dalam penerapan teknologi sistem kendali berbasis *fuzzy type 2* dalam upaya meningkatkan efisiensi energi yang dapat dihasilkan oleh suatu panel surya.

Kata Kunci : Sistem Kendali Dual Axis Solar Tracker ,Fuzzy Type 2, Efisiensi Energi .

I. PENDAHULUAN

Dalam era perkembangan teknologi yang pesat ini, energi terbarukan semakin menjadi fokus utama untuk masalah ketergantungan pada sumber energi fosil yang tidak terbarukan. Salah satu sumber energi terbarukan yang memiliki potensi untuk menggantikan sumber energi fosil ialah energi matahari atau *solar energy*. Energi matahari telah lama diakui sebagai salah satu sumber energi potensial untuk memenuhi kebutuhan energi global. Konversi energi matahari menjadi energi listrik menggunakan panel surya telah menjadi solusi yang paling menjanjikan dalam mengatasi krisis energi global dan meminimalkan dampak negatif terhadap lingkungan.

Namun kendala yang sering dihadapi dalam penggunaan panel surya adalah efisiensi konversi energi. Efisiensi energi panel surya dapat ditingkatkan dengan menggunakan alat bantu yang dapat mengoptimalkan penangkapan radiasi

matahari. Salah satu alat bantu yang efektif adalah sistem kendali dual axis solar tracker. Implementasi dual axis solar tracker tidaklah sederhana, sistem ini memerlukan pengontrol yang mampu mengikuti pergerakan matahari dengan akurat. Selain itu perubahan kondisi cuaca, seperti awan atau kabut dapat mempengaruhi kinerja sistem secara signifikan. Oleh karena itu, pengembangan algoritma sistem kendali harus adaptif dan handal menjadi masalah yang krusial dalam peningkatan kinerja sistem kendali ini.

Logika *Fuzzy type 2* telah terbukti efektif dalam mengatasi kompleksitas dan ketidakpastian dalam sistem kendali nonlinier. Dengan mengintegrasikan teknologi fuzzy type 2 kedalam sistem kendali solar tracker, diharapkan dapat meningkatkan efisiensi konversi energi pada panel surya. Dalam konteks ini, penelitian ini bertujuan untuk merancang suatu sistem kendali dual axis solar tracker berbasis fuzzy type 2 dengan menggunakan arduino uno sebagai mikrokontroler yang fleksibel dan praktis. Dan dengan mengintegrasikan logika *fuzzy type 2* kedalam Arduino Uno, diharapkan dapat menciptakan sistem kendali dual axis solar tracker yang efisien, adaptif, dan mudah diimplementasikan.

Oleh karena itu, penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi yang signifikan dalam pengembangan sistem kendali solar tracker yang lebih efisien dan handal, sehingga dapat mendorong penggunaan energi baru terbarukan berupa energi matahari sebagai sumber energi utama yang dapat menunjang keberlanjutan suatu sistem kelistrikan dan mengurangi penggunaan bahan bakar fosil.

Berdasarkan latar belakang masalah yang telah dijelaskan diatas, maka rumusan masalah dari penelitian ini adalah, bagaimana cara merancang sistem kendali dual axis solar tracker berbasis *fuzzy type 2* guna meningkatkan kestabilan sistem sehingga daya keluaran dapat stabil dalam kondisi cuaca baik maupun mendung, dan yang terakhir bagaimana cara mengintegrasikan dalam mikrokontroler agar dapat menggerakkan motor pada sistem solar tracker.

Penelitian ini bertujuan adalah untuk mengimplementasikan logika *fuzzy type 2* kedalam sistem

kendali *dual axis solar tracker* guna meningkatkan kemampuan akurasi pelacakan sinar matahari, dan tujuan kedua untuk menganalisa data perolehan energi matahari yang dapat diperoleh oleh suatu panel surya, dan tujuan yang terakhir untuk membandingkan data keluaran tegangan dan arus akibat terjadinya perubahan cuaca yang diterima panel surya menggunakan tracker dengan panel surya tanpa tracker.

II. KAJIAN PUSTAKA

A. Konversi Energi

Konversi energi adalah proses perubahan suatu energi menjadi energi lain. Konversi energi surya menjadi energi listrik adalah proses di mana energi matahari yang berupa radiasi elektromagnetik diubah menjadi energi listrik yang dapat digunakan untuk keperluan listrik. Proses ini biasanya dilakukan menggunakan panel surya atau fotovoltaik. Rumus konversi energi surya menjadi energi listrik dapat dicari menggunakan persamaan (1) di bawah:

$$P = A \times G \times n \quad (1)$$

Diketahui :

P = Daya (Watt)

A = Luas Permukaan Panel Surya (m²)

G = Intensitas Cahaya Matahari

n = Efisiensi

B. Daya Energi Listrik

Daya listrik merupakan ukuran jumlah energi listrik yang digunakan atau dihasilkan oleh suatu peralatan listrik per satuan waktu. Satuan yang digunakan untuk mengukur daya listrik adalah watt (W). Rumus daya energi listrik dapat dicari dengan persamaan (2) di bawah ini:

$$P = V \times I \quad (2)$$

Diketahui :

P = Daya (Watt)

V = Tegangan (V)

C. Efisiensi Energi

Efisiensi energi suatu panel surya adalah kemampuan panel untuk mengubah energi cahaya matahari atau energi surya menjadi suatu energi listrik. Efisiensi energi pada solar PV menjadi alasan utama mengapa diperlukan sistem solar tracker untuk meningkatkan produksi energi listrik dari suatu solar PV. Namun penggunaan panel surya memiliki kendala utama yaitu kecilnya efisiensi yang dihasilkan yang hanya sekitar 16 % [2]. Rumus efisiensi energi panel surya dapat dicari dengan persamaan (3) di bawah ini:

$$Efisiensi(n) = \frac{Energi\ listrik}{Energi\ matahari\ PV} \times 100\% \quad (3)$$

D. Intensitas Cahaya

Intensitas cahaya matahari adalah jumlah energi cahaya matahari yang mencapai permukaan bumi dari matahari dalam waktu tertentu. Intensitas cahaya matahari yang diterima oleh suatu panel surya sangat bervariasi tergantung pada beberapa faktor termasuk waktu musim dan lokasi secara geografis. Intensitas cahaya matahari maksimum dapat mencapai 1000

watt per meter persegi di daerah tropis yang terbuka dan pada ketinggian yang tinggi. Rumus konversi energi surya menjadi energi listrik dapat dicari menggunakan persamaan (4) di bawah:

$$I = \frac{P}{A} \quad (4)$$

Diketahui:

I = intensitas cahaya yang diterima (W/m²).

P = daya cahaya yang diterima dalam watt (W).

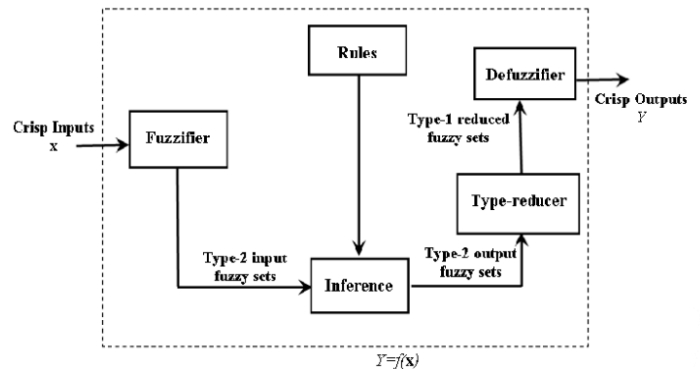
A = luas permukaan panel surya yang menerima cahaya dalam meter persegi (m²).

E. Sistem Kendali Solar Tracker

Sistem kendali solar tracker adalah teknologi yang digunakan pada panel surya untuk mengoptimalkan penangkapan energi matahari dengan secara otomatis mengarahkan panel surya agar selalu menghadap ke arah matahari.

F. Fuzzy Logic Type 2

Fuzzy type 2 adalah pengembangan lebih lanjut dari teori fuzzy yang memperluas konsep dari logika fuzzy sebelumnya yaitu *fuzzy type 1*. Konsep *fuzzy type 2* memungkinkan kita untuk mengatasi ketidakpastian lebih kompleks dalam sistem yang diatur oleh logika *fuzzy*. Dalam *fuzzy type 2*, tidak hanya ada nilai keanggotaan untuk setiap elemen himpunan *fuzzy*, akan tetapi juga ada nilai keanggotaan untuk ketidakpastian dalam menentukan nilai keanggotaan tersebut.



Gambar 1. Konsep Fuzzy Type 2

G. Fuzzifikasi

Fuzzifikasi adalah proses konversi dari data atau input yang bersifat tegas atau pasti menjadi representasi yang lebih kabur atau tidak pasti dalam konteks logika fuzzy. Hal ini adalah langkah pertama dalam sistem berbasis logika fuzzy di mana variabel input diterjemahkan menjadi nilai keanggotaan dalam suatu himpunan fuzzy.

H. Inferensi Sistem

inferensi adalah proses pengambilan keputusan atau penarikan kesimpulan berdasarkan aturan-aturan yang telah ditetapkan dalam sistem tersebut. Proses ini merupakan pengolahan data masukan dari proses sebelumnya yaitu proses fuzzifikasi. Proses inferensi pada sistem logika fuzzy

melibatkan kombinasi aturan-aturan fuzzy seperti AND, OR, dan NOT.

I. Rule Base

Rule base merupakan bagian dari proses inferensi, rule base sendiri merupakan kumpulan aturan fuzzy yang digunakan untuk menentukan input yang dipetakan ke output dalam sistem tersebut. Aturan – aturan ini mirip dengan aturan pada fuzzy type 1, akan tetapi memiliki perbedaan yang terletak pada cara penanganan ketipastian didalam sistem fuzzy type 2.

J. Type Reducer

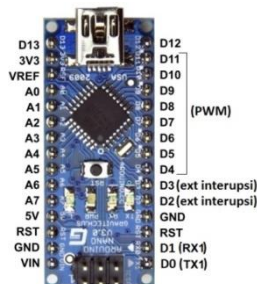
Type Reducer adalah suatu proses untuk merubah atau mereduksi himpunan fuzzy type 2 menjadi himpunan fuzzy type 1. Proses ini terjadi pada saat sebelum proses defuzzifikasi, secara umum proses akan membantu menangani kompleksitas tambahan pada sistem fuzzy type 2.

K. Defuzzifikasi

Defuzzifikasi adalah proses konversi output fuzzy, yang dinyatakan dalam suatu bentuk himpunan fuzzy dengan derajat keanggotaan yang berbeda-beda, hal ini akan menjadi suatu nilai tegas atau nilai pasti dalam domain yang relevan. Proses ini merupakan langkah terakhir dalam sistem logika fuzzy setelah inferensi, di mana output fuzzy yang dihasilkan dari aturan-aturan fuzzy dikonversi menjadi nilai yang dapat digunakan dalam pengambilan keputusan atau tindakan selanjutnya. Tujuan utama dari proses defuzzifikasi ialah untuk menghasilkan nilai tegas yang mempresentasikan keputusan atau tindakan yang harus diambil berdasarkan output fuzzy dari sistem logika fuzzy.

L. Arduino Nano

Arduino nano merupakan jenis mikrokontroler yang cukup populer karena ukurannya kecil dan kemampuannya yang cukup untuk mengontrol suatu sistem kendali. Arduino nano ini banyak digunakan untuk berbagai proyek elektronik termasuk sistem kendali solar tracker dual axis menggunakan fuzzy type 2.



Gambar 2. Arduino Nano

M. Panel Surya

Panel surya merupakan suatu komponen yang digunakan untuk merubah energi surya atau energi matahari menjadi energi listrik.



Gambar 3. Panel Surya

N. Solar Charge Controller

Solar charge controller merupakan suatu komponen yang digunakan untuk mengatur pengisian pada baterai. Fungsi dari komponen ini adalah untuk mengontrol arus dan tegangan yang masuk dari panel surya menuju ke baterai agar baterai tidak mengalami kondisi over charge atau over discharge.



Gambar 4. Solar Charge Controller

O. Baterai Lithium

Baterai lithium merupakan salah satu jenis baterai yang dikenal memiliki kepadatan energi yang cukup tinggi yang artinya mereka dapat menyimpan lebih banyak energi per unit atau volume dibandingkan dengan baterai lainnya sebagai baterai seng karbon atau baterai nikel kadmium baterai lithium ini digunakan untuk aplikasi sistem kendali dual axis solar tracker karena keunggulannya cenderung memiliki tingkat sel discharge yang rendah dan memiliki masa pakai yang panjang.



Gambar 5. Baterai

P. Sensor Irradiance

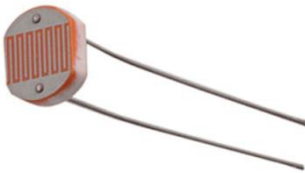
Merupakan salah satu jenis sensor yang digunakan untuk mengukur intensitas cahaya yang diterima oleh suatu panel surya. Kegunaan sensor irradiance dalam sistem kendali dual axis solar tracker untuk membantu sistem mengoptimalkan orientasi panel surya terhadap sinar matahari secara *real time*.



Gambar 6. Sensor Irradiance

Q. Light Dependet Resistor (LDR)

Sensor LDR (Light Dependent Resistor) adalah jenis sensor yang dapat mengubah resistansinya tergantung pada intensitas cahaya yang diterima oleh sensor ini. Pada sistem kendali dual axis solar tracker, sensor ini digunakan untuk mendeteksi intensitas cahaya dari matahari. Fungsi lainnya adalah untuk memberikan informasi kepada sistem kontrol untuk menggerakkan panel surya agar selalu menghadap ke arah matahari secara optimal.



Gambar 7. Light Dependent Resistor (LDR)

R. Motor Stepper Linier

Motor stepper linier adalah suatu jenis motor yang dirancang untuk menggerakkan suatu mekanisme secara linear, yang artinya gerakan sepanjang suatu jalur yang lurus. Prinsip kerja dari motor yaitu berdasarkan prinsip elektromagnetik pada motor ini memiliki suatu komponen berupa aktuator yang berfungsi untuk mengubah energi listrik menjadi gerakan linier.

S. Modul Sensor Tegangan

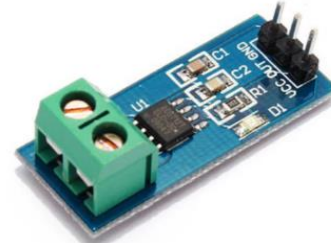
Sensor tegangan merupakan suatu perangkat elektronika yang digunakan untuk mengukur atau mendeteksi nilai tegangan listrik, sensor tegangan memiliki fungsi untuk mengkonversi nilai tegangan yang telah diukur menjadi keluaran atau output berupa sinyal digital yang dapat dibaca oleh mikrokontroler.



Gambar 8. Modul Sensor Tegangan

T. Modul Sensor Arus

Sensor arus merupakan perangkat yang berguna untuk mengukur arus listrik yang mengalir pada suatu rangkaian kelistrikan. Sensor ini sering diaplikasikan pada ragkaian pengisian baterai atau bahkan pada monitoring energi pada sistem tenaga listrik skala besar. Prinsip kerja sensor ini menggunakan prinsip medan magnet yang dihasilkan oleh arus yang mengalir melalui konduktor terdeteksi dan nantinya akan diubah menjadi tegangan yang proporsional dengan arus tersebut.



Gambar 9. Modul Sensor Arus

U. Arduino IDE

Arduino ide merupakan aplikasi atau perangkat lunak yang digunakan untuk menulis mengedit atau mengompilasi kode program ke mikrokontroler terkhusus Arduino, bahasa pemrograman yang dapat dibaca pada aplikasi ini adalah bahasa C atau bahasa C++.



Gambar 10. Arduino IDE

V. Modul Driver Motor

Modul driver motor pada Arduino adalah komponen yang memungkinkan Anda mengendalikan motor dengan menggunakan sinyal dari Arduino. Motor tidak bisa dihubungkan langsung ke pin Arduino karena memerlukan arus dan tegangan yang lebih tinggi daripada yang bisa disediakan oleh pin digital Arduino.



Gambar 11. Driver Motor

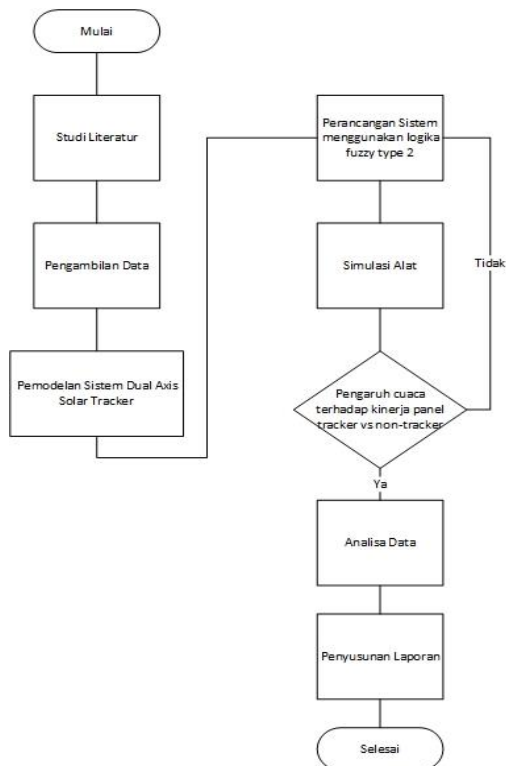
III. METODOLOGI PENELITIAN

A. Hasil Survey Lapangan

Penelitian dan perancangan alat sistem kendali dual axis solar tracker berbasis *fuzzy type 2* dilakukan di laboratorium EBT.

B. Flow Chart Penelitian

Berikut ini adalah alur keseluruhan sistem, beserta penjelasan setiap langkah – langkahnya.



Gambar 12. Flow Chart Penelitian

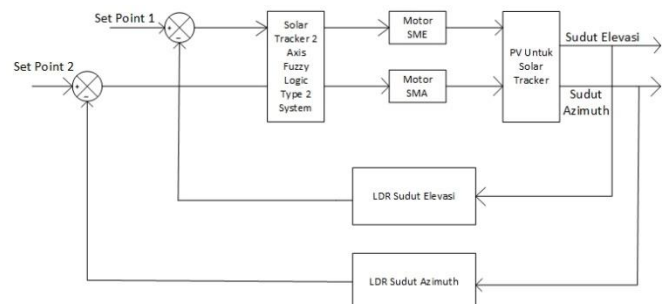
Dalam proses penyusunan dan pengerjaan penelitian, diperlukan penulisan secara sistematis yang bertujuan untuk mempermudah langkah pengerjaan penelitian ini. Penelitian ini dimulai dengan langkah – langkah yang akan dijelaskan sebagai berikut :

1. Mulai
2. Melakukan studi literatur untuk mengkaji penelitian dan teori terkait fuzzy logic type 2 .
3. Berikutnya melakukan pengambilan data untuk keperluan perancangan sistem kendali dual axis solar tracker.
4. Pemodelan dan perancangan sistem solar tracker dual axis.
5. Perancangan kontrol menggunakan logika fuzzy type 2 dan serta penyesuaianya kedalam mikrokontroller.
6. Mensimulasikan sistem kendali dual axis solar tracker yang telah dirancang.
7. Pengujian kinerja sistem dual axis solar tracker menggunakan fuzzy type 2 terhadap perubahan kondisi lingkungan apakah berpengaruh terhadap penurunan tegangan dan arus yang dihasilkan, dan kemudian membandingkan hasil dengan alat non tracking.
8. Menganalisa data hasil simulasi untuk memenuhi kriteria kestabilan daya keluaran pada sistem.
9. Selesai.

Flowchart ini menunjukkan pendekatan sistematis dalam mengembangkan dan mengevaluasi sistem solar tracker dual axis, dengan fokus pada optimasi efisiensi menggunakan kontrol logika fuzzy tipe 2.

C. Blok Diagram

Berikut ini merupakan diagram balok pada sistem kendali dual axis solar tracker berbasis fuzzy type 2, diagram balok ini akan menjelaskan bagaimana sistem ini dapat bekerja. Berikut gambar diagram balok dan penjelasannya :harus diketik dengan menggunakan font Times New Roman atau Symbol (tolong tidak ada font lain). Untuk membuat persamaan bertingkat, mungkin perlu untuk membuat persamaan pada file lain dan memasukkannya ke template setelah siap.



Gambar 13. Blok Diagram

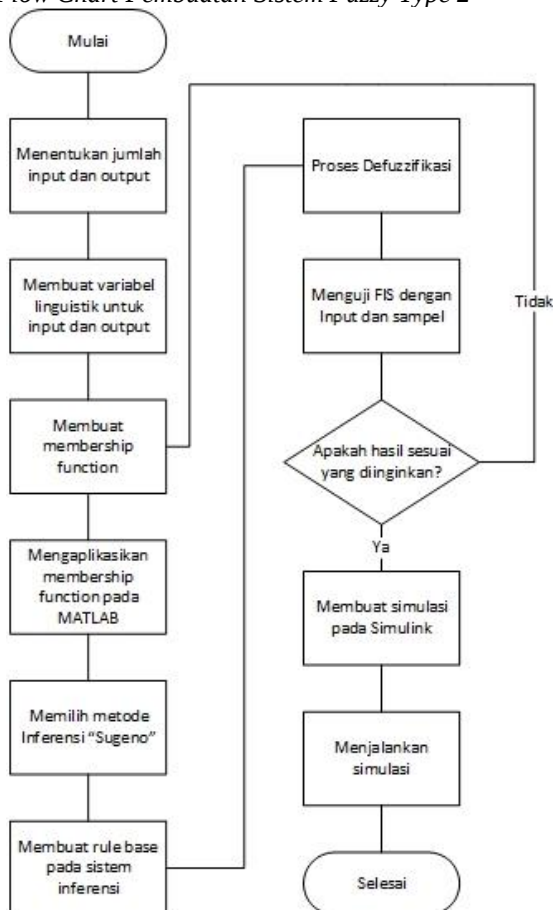
1. Set point 1 dan set point 2: Ini adalah nilai referensi yang diinginkan untuk posisi elevasi dan azimuth panel surya.
2. Solar tracker dual axis fuzzy logic type 2 System: Ini adalah inti dari sistem kontrol, menggunakan logika fuzzy tipe 2 untuk mengendalikan pergerakan panel surya pada dua sumbu (elevasi dan azimuth).
3. Motor SME dan SMA: Motor-motor ini digunakan untuk menggerakkan panel surya pada sumbu elevasi (SME) dan azimuth (SMA).

4. PV Untuk Solar Tracker: Ini adalah panel surya yang dikendalikan oleh sistem.
5. LDR Sudut Elevasi dan LDR Sudut Azimuth: Light Dependent Resistor (LDR) digunakan sebagai sensor untuk mendeteksi intensitas cahaya matahari, memberikan umpan balik ke sistem kontrol.
6. Sudut Elevasi dan Sudut Azimuth: Ini adalah output sistem, menunjukkan posisi aktual panel surya.

Cara kerja sistem:

1. Set point ditetapkan untuk elevasi dan azimuth.
2. Sistem fuzzy tipe 2 membandingkan set point dengan pembacaan sensor LDR. Berdasarkan perbedaan ini, sistem fuzzy menghasilkan sinyal kontrol.

D. Flow Chart Pembuatan Sistem Fuzzy Type 2



Gambar 14. Flow Chart Sistem Fuzzy Type 2

Berdasarkan diagram alur tersebut, berikut penjelasan detail mengenai pembuatan program:

1. Mulai
2. Menentukan jumlah input dan output, menentukan berapa variabel input dan output yang akan digunakan dalam sistem.
3. Membuat variabel linguistik untuk input dan output, Mendefinisikan variabel linguistik yang akan dimasukkan dalam membership function.
4. Membuat membership function, membuat fungsi keanggotaan untuk setiap variabel linguistik, yang

menentukan derajat keanggotaan nilai dalam himpunan fuzzy type 2.

5. Mengaplikasikan membership function pada aplikasi MATLAB, mengimplementasikan fungsi keanggotaan yang telah dibuat ke dalam software MATLAB.
6. Memilih metode inferensi "Sugeno".
7. Membuat rule base pada inferensi, membuat aturan-aturan fuzzy guna menghubungkan input dengan output.
8. Proses Defuzzifikasi, melakukan proses defuzzifikasi untuk mengubah output fuzzy menjadi nilai crisp.
9. Menguji FIS dengan input dan sampel: Melakukan pengujian sistem inferensi fuzzy (FIS) dengan input dan sampel data.
10. Apakah hasil sesuai yang diinginkan?, evaluasi hasil pengujian. Jika sesuai, lanjut ke langkah berikutnya. Jika tidak, kembali ke langkah ke tiga untuk melakukan penyesuaian.
11. Membuat simulasi pada Simulink, jika hasil sesuai, membuat model simulasi menggunakan Simulink di MATLAB.
12. Menjalankan simulasi pada simulink.
13. Selesai.

Program ini tampaknya merupakan implementasi sistem fuzzy menggunakan MATLAB dan Simulink, yang umum digunakan dalam kontrol logika fuzzy atau pemodelan sistem berbasis fuzzy.

E. Kebutuhan Alat

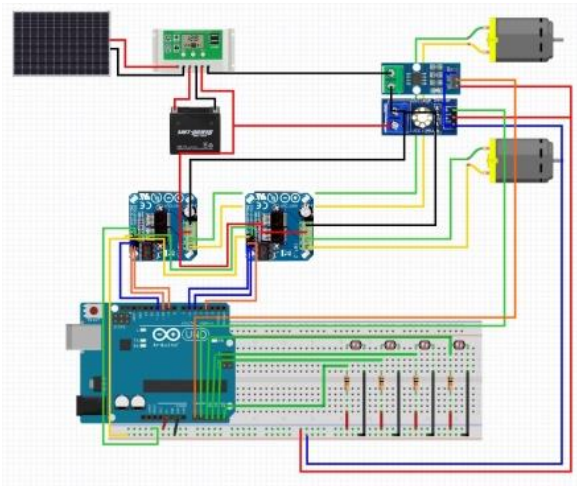
Untuk alat dan bahan yang diperlukan dalam perancangan sistem kendali dual axis solar tracker berbasis fuzzy type 2 terdiri dari beberapa komponen yaitu :

Tabel I. Kebutuhan Alat

No.	Nama Komponen	Jumlah
1.	Arduino Nano	1
2.	Panel Surya 100 Wp	1
3.	Solar Charge Controller	1
4.	Baterai Lithium	1
5.	Sensor Irradiance	1
6.	LDR (Light Dependent Resistor)	4
7.	Motor Stepper Linier	2
8.	Modul Sensor Tegangan	1
9.	Modul Sensor Arus	1
10.	Modul Driver Motor	2

F. Rangkaian Komponen

Berikut ini merupakan penjelasan mengenai rangkaian komponen Arduino yang terpasang:



Gambar 15. Rangkaian Komponen

1. Arduino Board (kemungkinan Arduino Nano)
 - Ini adalah komponen utama yang menjalankan kode.
2. Sensor LDR (Light Dependent Resistor) - 4 buah
 - Terhubung ke pin analog A0, A1, A2, dan A3
 - Digunakan untuk mendeteksi intensitas cahaya dari berbagai arah
3. Sensor Tegangan
 - Terhubung ke pin analog A6
 - Digunakan untuk mengukur tegangan
4. Sensor Arus
 - Terhubung ke pin analog A7
 - Digunakan untuk mengukur arus
5. Sensor Intensitas Cahaya GY-49
 - Terhubung melalui I2C (pin SDA dan SCL)
 - Digunakan untuk mengukur intensitas cahaya dengan lebih akurat
6. Motor Driver (kemungkinan L298N atau sejenis)
 - Mengontrol 2 motor (X dan Y axis)
 - Pin kontrol:
 - Motor X: pwmXA (pin 3), pwmXB (pin 9)
 - Motor Y: pwmYA (pin 10), pwmYB (pin 11)
7. DFRobot_B_LUX_V30B Sensor
 - Terhubung ke pin 13
 - Sensor tambahan untuk mengukur intensitas Cahaya

IV. SIMULASI DAN ANALISA

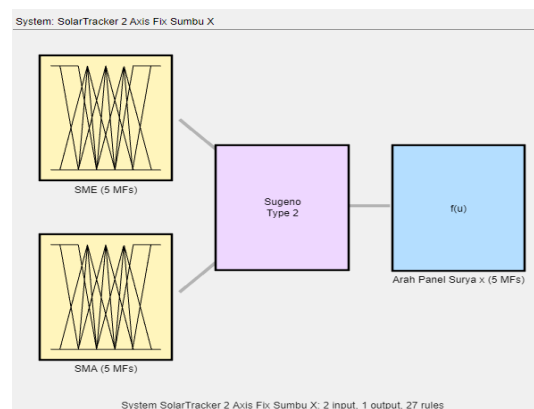
A. Rancangan Sistem Fuzzy Type 2

Berikut ini merupakan gambaran mengenai sistem fuzzy yang telah dibuat dengan menyertakan jumlah input dan output yang telah ditentukan.

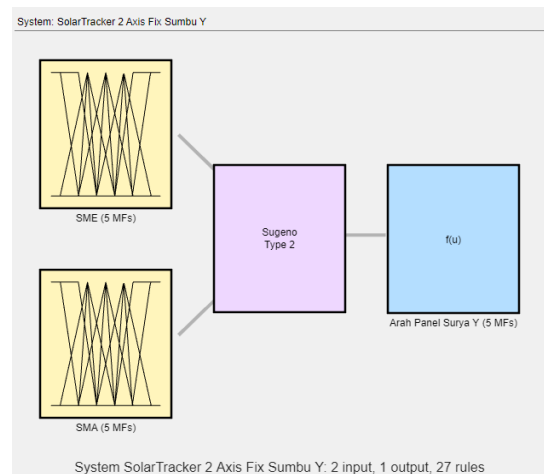
Type:	Sugeno Type-2
Name	SolarTracker 2 Axis F
And method	prod
Or method	probor
Implication method	prod
Aggregation method	sum
Defuzzification method	wtaver
Type-reduction method	karnikmendel
Inputs:	2
Outputs:	1
Rules:	27

Gambar 16. Konfigurasi Sistem Solar Tracker

Sistem ini merupakan konfigurasi yang dirancang untuk aplikasi sistem kendali dual axis solar tracker. Penggunaan sistem logika *fuzzy type 2*.



Gambar 17. Sistem Sumbu X

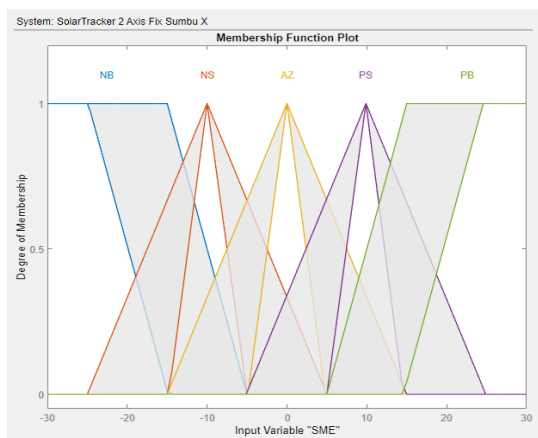


Gambar 18. Sistem Sumbu Y

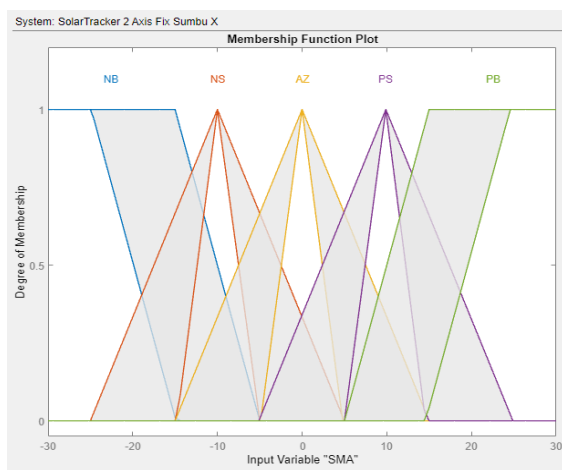
Pada gambar diatas merupakan gambar sistem fuzzy type 2 untuk sumbu X dan Y yang dimana terdapat dua parameter input yaitu SME (Sudut Motor Elevasi) dan SMA (Sudut Motor Azimuth) dengan 1 output.

B. Membership Function

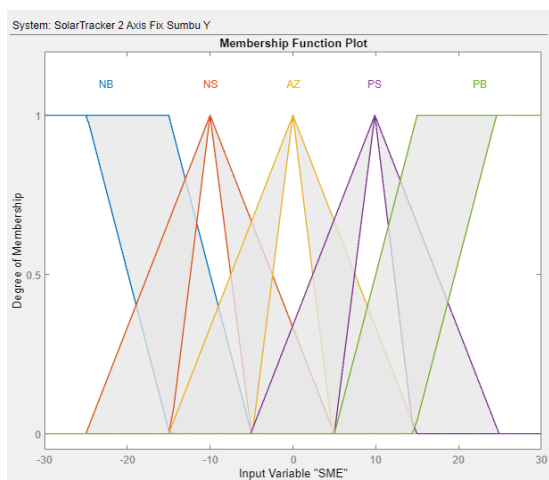
Berikut ini merupakan membership function pada sistem yang telah dibuat :



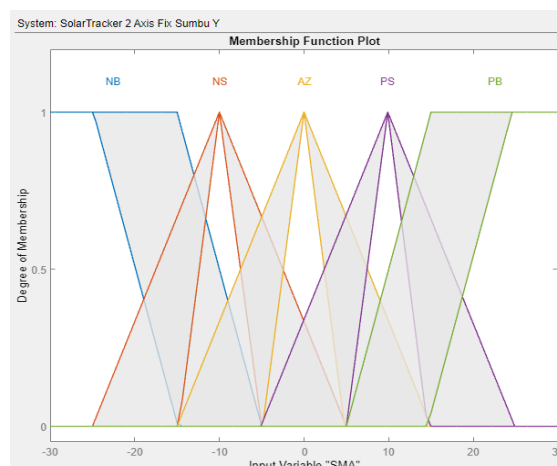
Gambar 19. Membership Function SME Sumbu X



Gambar 20. Membership Function SMA Sumbu X



Gambar 21. Membership Function SME Sumbu Y



Gambar 22. Membership Function SMA Sumbu Y

Pada gambar – gambar tersebut menunjukkan membership function untuk sistem fuzzy type 2. Berikut merupakan penjelasan membership function yang telah dibuat berdasarkan gambar tersebut. Berikut membership function yang telah dibuat:

1. NB (Negative Big) menggunakan fungsi trapesium.
2. NS (Negative Small) menggunakan fungsi segitiga.
3. AZ (Around Zero) menggunakan fungsi segitiga.
4. PS (Positive Small) menggunakan fungsi segitiga.
5. PB (Positive Big) menggunakan fungsi trapesium.

Membership function diatas memiliki range antara -30 hingga 30, dan memiliki 5 parameter yang telah dijelaskan diatas yaitu NB, NS, AZ, PS, PB.

C. Pembuatan Rule Base

Berikut ini merupakan pembuatan rule base pada sistem kendali dual axis solar tracker berdasarkan parameter dari membership function yang telah dibuat.

System: SolarTracker 2 Axis Fix Sumbu X		
Add All Possible Rules		Clear All Rules
Rule	Weight	Name
1 If SME is NB and SMA is NB then Arah Panel Surya x is Kiri Cepat	1	rule1
2 If SME is NB and SMA is NS then Arah Panel Surya x is Kiri Cepat	1	rule2
3 If SME is NS and SMA is NS then Arah Panel Surya x is Kiri Lambat	1	rule3
4 If SME is NS and SMA is NB then Arah Panel Surya x is Kiri Lambat	1	rule4
5 If SME is NB and SMA is AZ then Arah Panel Surya x is Kiri Cepat	1	rule5
6 If SME is NB and SMA is AZ then Arah Panel Surya x is Diam	1	rule6
7 If SME is NS and SMA is AZ then Arah Panel Surya x is Kiri Lambat	1	rule7
8 If SME is NS and SMA is AZ then Arah Panel Surya x is Diam	1	rule8
9 If SME is NB and SMA is PS then Arah Panel Surya x is Kiri Lambat	1	rule9
10 If SME is NB and SMA is PS then Arah Panel Surya x is Kiri Lambat	1	rule10
11 If SME is NB and SMA is PS then Arah Panel Surya x is Kanan Lambat	1	rule11
12 If SME is NB and SMA is PS then Arah Panel Surya x is Kiri Cepat	1	rule12
13 If SME is NS and SMA is PS then Arah Panel Surya x is Diam	1	rule13
14 If SME is NS and SMA is PS then Arah Panel Surya x is Kiri Lambat	1	rule14
15 If SME is NS and SMA is PS then Arah Panel Surya x is Kanan Lambat	1	rule15
16 If SME is NS and SMA is PS then Arah Panel Surya x is Kanan Cepat	1	rule16
17 If SME is NB and SMA is PB then Arah Panel Surya x is Kiri Lambat	1	rule17
18 If SME is NB and SMA is PB then Arah Panel Surya x is Kiri Lambat	1	rule18
19 If SME is NB and SMA is PB then Arah Panel Surya x is Kanan Lambat	1	rule19
20 If SME is NS and SMA is PB then Arah Panel Surya x is Diam	1	rule20
21 If SME is NS and SMA is PB then Arah Panel Surya x is Kiri Lambat	1	rule21
22 If SME is NS and SMA is PB then Arah Panel Surya x is Kanan Lambat	1	rule22
23 If SME is NS and SMA is PB then Arah Panel Surya x is Kanan Cepat	1	rule23
24 If SME is PS and SMA is PS then Arah Panel Surya x is Kanan Lambat	1	rule24
25 If SME is PS and SMA is PB then Arah Panel Surya x is Kanan Cepat	1	rule25
26 If SME is PB and SMA is PB then Arah Panel Surya x is Kanan Cepat	1	rule26
27 If SME is PB and SMA is PS then Arah Panel Surya x is Kanan Lambat	1	rule27

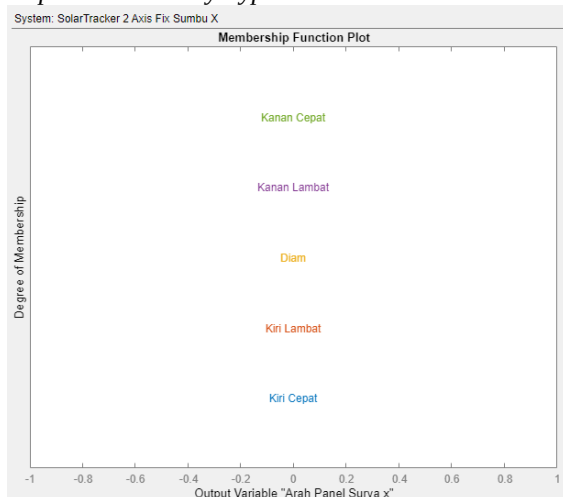
Gambar 23. Rule Base Sumbu X

System: SolarTracker 2 Axis Fix Sumbu Y			
Add All Possible Rules Clear All Rules			
Rule	Weight	Name	
1 If SME is NB and SMA is NB then Arah Panel Surya Y is Bawah Cepat	1	rule1	
2 If SME is NB and SMA is NS then Arah Panel Surya Y is Bawah Cepat	1	rule2	
3 If SME is NS and SMA is NS then Arah Panel Surya Y is Bawah Lambat	1	rule3	
4 If SME is NS and SMA is NB then Arah Panel Surya Y is Bawah Lambat	1	rule4	
5 If SME is NB and SMA is AZ then Arah Panel Surya Y is Bawah Cepat	1	rule5	
6 If SME is NB and SMA is AZ then Arah Panel Surya Y is Diam	1	rule6	
7 If SME is NS and SMA is AZ then Arah Panel Surya Y is Bawah Lambat	1	rule7	
8 If SME is NS and SMA is AZ then Arah Panel Surya Y is Diam	1	rule8	
9 If SME is NB and SMA is PS then Arah Panel Surya Y is Diam	1	rule9	
10 If SME is NB and SMA is PS then Arah Panel Surya Y is Bawah Lambat	1	rule10	
11 If SME is NB and SMA is PS then Arah Panel Surya Y is Atas Lambat	1	rule11	
12 If SME is NB and SMA is PS then Arah Panel Surya Y is Bawah Cepat	1	rule12	
13 If SME is NS and SMA is PS then Arah Panel Surya Y is Diam	1	rule13	
14 If SME is NS and SMA is PS then Arah Panel Surya Y is Bawah Lambat	1	rule14	
15 If SME is NS and SMA is PS then Arah Panel Surya Y is Atas Lambat	1	rule15	
16 If SME is NS and SMA is PS then Arah Panel Surya Y is Atas Cepat	1	rule16	
17 If SME is NB and SMA is PB then Arah Panel Surya Y is Diam	1	rule17	
18 If SME is NB and SMA is PB then Arah Panel Surya Y is Bawah Lambat	1	rule18	
19 If SME is NB and SMA is PB then Arah Panel Surya Y is Atas Lambat	1	rule19	
20 If SME is NS and SMA is PB then Arah Panel Surya Y is Diam	1	rule20	
21 If SME is NS and SMA is PB then Arah Panel Surya Y is Bawah Lambat	1	rule21	
22 If SME is NS and SMA is PB then Arah Panel Surya Y is Atas Lambat	1	rule22	
23 If SME is NS and SMA is PB then Arah Panel Surya Y is Atas Cepat	1	rule23	
24 If SME is PS and SMA is PS then Arah Panel Surya Y is Atas Lambat	1	rule24	
25 If SME is PS and SMA is PB then Arah Panel Surya Y is Atas Cepat	1	rule25	
26 If SME is PB and SMA is PB then Arah Panel Surya Y is Atas Cepat	1	rule26	
27 If SME is PB and SMA is PS then Arah Panel Surya Y is Atas Lambat	1	rule27	

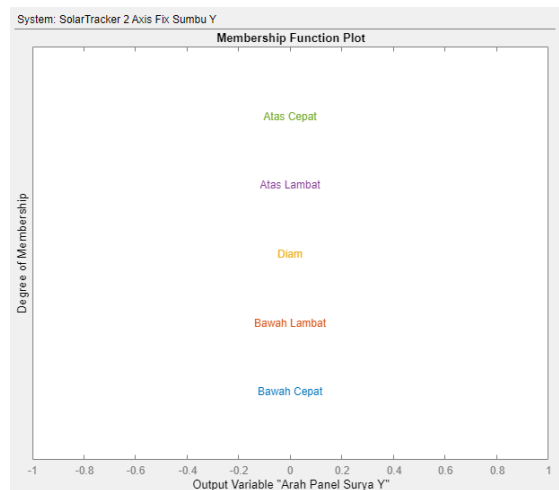
Gambar Rule 24. Base Sumbu Y

Pada rule base diatas memiliki struktur aturan “IF (Kondisi 1) and (Kondisi 2) THEN (Output). Output disini merupakan hasil pergerakan kearah mana panel surya tersebut bergerak.

D. Output Sistem Fuzzy Type 2 Pada Solar Tracker



Gambar 25. Output Sumbu X



Gambar 26. Output Sumbu Y

Fungsi keanggotaan ada 5 fungsi yang ditampilkan, masing-masing mewakili kondisi atau respon yang berbeda terhadap pergerakan panel surya pada sumbu X:

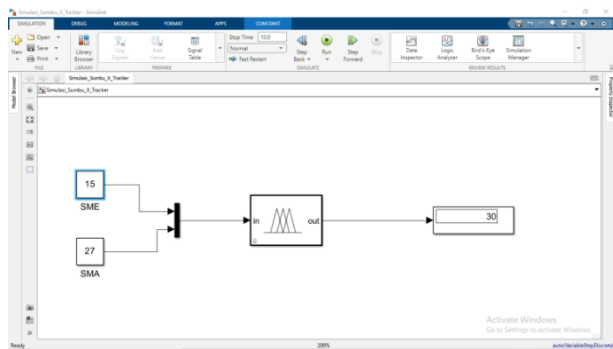
- Kiri Cepat: Menggerakkan panel ke kiri dengan kecepatan tinggi.
- Kiri Lambat: Menggerakkan panel ke kiri dengan kecepatan rendah.
- Diam: Panel tidak bergerak
- Kanan Lambat: Menggerakkan panel ke kanan dengan kecepatan rendah.
- Kanan Cepat: Menggerakkan panel ke kanan dengan kecepatan tinggi.

Fungsi keanggotaan ada 5 fungsi yang ditampilkan, masing-masing mewakili kondisi atau respon yang berbeda terhadap pergerakan panel surya pada sumbu Y:

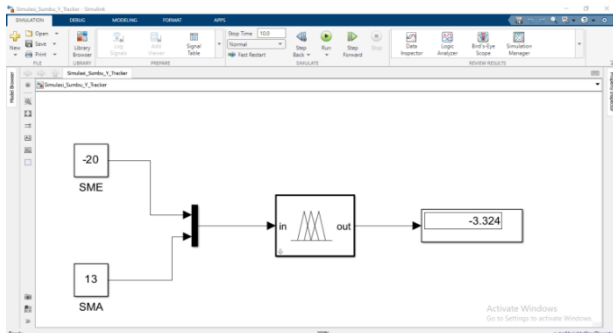
- Bawah Cepat: Menggerakkan panel ke bawah dengan kecepatan tinggi.
- Bawah Lambat: Menggerakkan panel ke bawah dengan kecepatan rendah.
- Diam: Panel tidak bergerak
- Atas Lambat: Menggerakkan panel ke atas dengan kecepatan rendah.
- Atas Cepat: Menggerakkan panel ke atas dengan kecepatan tinggi.

E. Simulasi Simulink

Simulasi ini dibuat berdasarkan perhitungan algoritma fuzzy type 2 yang telah dibuat pada tahap sebelumnya, tujuan dibuatnya simulasi pada Simulink ditujukan untuk menguji apakah algoritma yang telah dibuat dapat bergerak sesuai yang telah kami tentukan.



Gambar 27. Simulink Sumbu X



Gambar 28. Simulink Sumbu Y

Pada simulasi kali ini kami mensimulasikan algoritma fuzzy type 2 pada motor sumbu X dan Y, disimulasi ini kami memasukkan nilai input untuk motor masing masing motor SME dan motor SMA yaitu 13 kedua input ini dihubungkan dengan mux ke sistem yang berisi algoritma *fuzzy type 2*, dengan disimulasikan dengan inputan sejumlah nilai tersebut maka output yang ditampilkan pada komponen display menunjukkan angka seperti pada gambar. Sehingga dapat disimpulkan bahwa simulasi yang dibuat sesuai dengan algoritma.

V. KESIMPULAN

A. Kesimpulan

1. Sistem solar tracker digunakan untuk meningkatkan kestabilan sistem tracking matahari sehingga tegangan dan arus yang dihasilkan stabil dalam kondisi cerah atau berawan.
2. Perbandingan hasil output tegangan dan arus yang dihasilkan oleh panel surya menggunakan sistem tracking *fuzzy type 2* terbukti lebih stabil apabila dengan panel surya tanpa sistem tracking.
3. Sistem yang telah dirancang menggunakan *fuzzy type 2* dapat menunjukkan respon yang sesuai dengan program dan algoritma yang telah di buat pada Matlab maupun pada Arduino IDE.

B. Saran

1. Pada sistem solar tracker dapat ditambahkan sistem monitoring yang dapat digunakan untuk memantau perolehan daya secara real time.
2. Pada sistem mungkin dapat diintegrasikan dengan IoT untuk memungkinkan pemantauan ataupun kontrol jarak

jauh sehingga dapat di integrasikan dengan sistem smart grid.

VI. DAFTAR PUSTAKA

- [1] Lecturer ANDI RAHMADIANSAH, A. (n.d.). DESIGN AND CONSTRUCTION SINGLE AXIS (AZIMUTH) SOLAR TRACKING SYSTEM USING PID CONTROL.
- [2] Listrik, S. P., Dalam, N., Mengantisipasi, R., Pltu Batubara, P., Kecil, S., Terbarukan, D. E., Rahardjo, I., & Fitriana, I. (n.d.). ANALISIS POTENSI PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA SURYA DI INDONESIA.
- [3] Winarno, I., Wulandari, F., Tuah Surabaya Jl Arif Rahman Hakim, H., & Jawa Timur, S. (n.d.). SOLAR TRACKING SYSTEM SINGLE AXIS PADA SOLAR SEL UNTUK MENGOPTIMALKAN DAYA DENGAN METODE ADAPTIVE NEURO-FUZZY INFERENCE SYSTEM (ANFIS).
- [4] Redi Ramadhan, C., Budi Sulistiawati, I., & Putu Agustini, N. (n.d.). PERANCANGAN SINGLE AXIS SOLAR TRACKER MENGGUNAKAN KENDALI LOGIKA FUZZY TIPE-2 UNTUK MENINGKATKAN PEROLEHAN ENERGI LISTRIK PANEL SURYA POLIKRISTALIN 100 WP.
- [5] Octaviyan, A., Darmawan, H., Nurohmah, H., Ali, M., Teknik Elektro, J., & Darul Ulum, U. (n.d.). Optimasi Dual Axis Tracking Untuk Photovoltaic Berbasis Firefly Algorithm dan Ant Colony Optimization.
- [6] PERANCANGAN SISTEM PENJEJAK MATAHARI DUA SUMBU DENGAN METODE ACTIVE TRACKING MENGGUNAKAN KONTROL FUZZY TIPE-2 INTERVAL. (n.d.).
- [7] Ilham Arifullah, M., Uji Krimanto, A., & Budi Sulistiawati, I. (n.d.). ANALISIS PENINGKATAN UNJUK KERJA SOLAR TRACKER SINGLE AXIS BERBASIS FUZZY LOGIC TYPE 2.
- [8] Wijaya, D. C. M., Rahmat, B., & Puspaningrum, E. Y. (2022). Sistem Pendukung Keputusan Berbasis Interval Type-2 Fuzzy Sugeno Pada Kendali pH Air. *InComTech : Jurnal Telekomunikasi Dan Komputer*, 12(3), 226. <https://doi.org/10.22441/incomtech.v12i3.15453>
- [9] Nuril Achadiyah, A., & Suseno Aji Sari, M. (2019). PERANCANGAN SOLAR TRACKER PHOTOVOLTAIC CELLS DENGAN METODE FUZZY LOGIC (Vol. 2, Issue 2).
- [10] Saputra, A. J., Erfianto, B., Saputra, M. A., Prabowo, S., & Swastika, N. A. (2019). IMPLEMENTASI FUZZY LOGIC CONTROL PADA TRACKING (PELACAKAN) SOLAR PANEL MENGGUNAKAN ARDUINO ATMEGA328. *Jurnal Teknologi Bahan Dan Barang Teknik*, 9(1), 25. <https://doi.org/10.37209/jtbbt.v9i1.107>
- [11] IMPLEMENTASI ALGORITMA FUZZY TYPE-2 UNTUK MENENTUKAN PERILAKU NPC DALAM GAME VIRTUAL REALITY SURVIVAL SHOOTER. (n.d.).

- [12] Krismanto, A. U., Labib, R. P. M. D., Setiadi, H., Lomi, A., & Abdillah, M. (2024). Hardware implementation of type-2 fuzzy logic control for single axis solar tracker. *Indonesian Journal of Electrical Engineering and Computer Science*, 35(1), 102–112. <https://doi.org/10.11591/ijeecs.v35.i1.pp102-112>



VII. BIODATA PENULIS

Agape Calvin Wahyu Puji Gusti merupakan mahasiswa ITN Malang, Agape lahir di Malang 10 September 2001, Sebelumnya Agape bersekolah di SMK Penerbangan Angkasa Malang. Agape merupakan mahasiswa yang aktif mengikuti paduan suara yang merupakan salah satu kegiatan aktif di ITN Malang. Email : agacalvin1009@gmail.com.