

PERANCANGAN SINGLE AXIS SOLAR TRACKER MENGGUNAKAN KENDALI LOGIKA FUZZY TIPE-2 UNTUK MENINGKATKAN PEROLEHAN ENERGI LISTRIK PANEL SURYA POLIKRISTALIN 100 WP

¹Catur Redi Ramadhan, ²Irrine Budi Sulistiawati, ³Ni Putu Agustini.

Institut Teknologi Nasional, Malang, Indonesia

¹rediramadhan646575@gmail.com, ²irrine@lecturer.itn.ac.id, ³ni_putu_agustini@lecturer.itn.ac.id

Abstrak—Pemanfaatan energi matahari sebagai energi listrik menggunakan *solar photovoltaic* (PV) salah satu energi alternatif yang populer pengganti listrik dari bahan pembangkit dengan bahan bakar fosil. Panel surya secara umum dipasang menggunakan kondisi tetap atau statis. Kondisi statis ini kurang optimal di karenakan posisi panel surya hanya diam sedangkan matahari selalu bergerak dari arah timur ke barat. Mendapatkan memaksimalkan penyerapan daya matahari oleh panel surya ditambahkan sistem kendali *solar tracker system*. Fungsi *solar tracker* tipe *single axis* adalah mengendalikan panel surya mengikuti pergerakan matahari. *solar tracker single axis* di rancang dengan menggunakan metode *fuzzy logic type-2* dan terdapat komponen penting yaitu panel surya, mikrokontroler, motor actuator linear dan sensor cahaya LDR (*Light Dependent Resistor*).

Kata Kunci—*Solar Tracker Single Axis, Sistem Kendali, Fuzzy Logic Type-2* ;

I. PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Indonesia merupakan wilayah yang terletak di sekitar sabuk khatulistiwa. Oleh karena itu Indonesia sebagai iklim tropis diberkahi dengan matahari yang bersinar selama lebih dari 6 jam sehari atau lebih dari 2400 jam per tahun dengan intensitas matahari 600-700 watt/m². Pemanfaatan energi matahari sebagai energi listrik menggunakan solar photovoltaic (PV) salah satu energi alternatif yang populer pengganti listrik dari bahan pembangkit dengan bahan bakar fosil. solar photovoltaic (PV) sangat ramah lingkungan, rendah kebisingan, dan portabilitas tinggi. [1]

Panel surya secara umum di pasang menggunakan kondisi tetap atau statis. Kondisi statis ini kurang optimal di karenakan posisi panel surya hanya diam sedangkan matahari selalu bergerak dari arah timur ke barat. sehingga energi yang di manfaatkan oleh panel surya hanya optimal dalam kondisi panel surya lurus dengan letak matahari. Untuk mengoptimalkan efisiensi panel surya di butuhkan sistem kendali pelacak matahari. *Solar tracker system* adalah sistem

kendali yang digunakan untuk melacak matahari yang dapat memungkinkan panel surya untuk mengikuti matahari secara konsisten. *Solar tracker* terdapat dua jenis yaitu *solar tracker single-axis* dan *solar tracker dual-axis* yang membedakan keduanya adalah pada sistem kerjanya. *Solar tracker single axis* merupakan sistem kendali untuk melacak matahari dengan menggunakan satu sudut derajat kebebasan yaitu timur dan barat, sedangkan *solar tracker-dual axis* menggunakan dua sudut derajat kebebasan yaitu timur-barat dan utara-selatan. Sudut derajat kebebasan merupakan sudut yang bertindak sebagai sumbu rotasi pada panel surya sesuai dengan arah terbit sampai terbenam matahari. *Solar tracker* perlu di terapkan untuk mengoptimalkan energi listrik yang di dihasilkan oleh panel surya dengan cara mengarahkan panel surya ke arah datang sinar matahari. [1-2]

Sistem kontrol atau sistem kendali solar tracker merupakan kumpulan komponen yang di rancang dan di berikan algoritma berupa perintah dengan tujuan agar panel surya dapat bekerja dengan mengikuti arah datang cahaya matahari. Kendali *solar tracker* menggunakan indikator sensor *Light Dependent Resistor* (LDR). Sensor LDR pada solar tracker digunakan untuk mendeteksi cahaya matahari dengan hasil keluaran berupa nilai resistansi. Nilai resistansi ini yang akan di proses oleh mikrokontroler untuk memberikan perintah kepada motor DC Aktuator Linear untuk menggerakkan panel surya naik turun mengikuti pergerakan matahari dari timur ke barat. [3-4]

Pada permasalahan yang akan di hadapi dalam menerapkan sistem pelacak matahari ini adalah pada sistem kontrol atau sistem kendali dikarenakan nilai keluaran yang di baca oleh sensor LDR akan selalu berubah-ubah. Perubahan nilai keluaran sensor LDR ini di pengaruhi oleh posisi panel surya terhadap arah datang sinar matahari. [5]

Permasalahan pada sistem kendali solar tracker di butuhkan suatu metode kendali yang dapat menyelesaikan permasalahan nilai yang selalu berubah - ubah dari hasil pembacaan nilai sensor LDR. Metode kendali yang

digunakan untuk menyelesaikan masalah dari hasil pembacaan sensor yang selalu berubah-ubah nilainya adalah metode kendali fuzzy logic. Pada dasarnya metode ini diterapkan untuk menyelesaikan masalah karena ketidakpastian (Prof. Lotfi Zadeh, 1965). Metode kendali *fuzzy logic* adalah kecerdasan buatan yang mempunyai kemampuan dalam memecahkan masalah pembacaan nilai yang berubah-ubah menjadi nilai tegas dengan cara memetakan nilai-nilai keluaran sensor LDR dan di rubah bentuk kedalam algoritma yang kemudian dapat di proses dan di jalankan oleh mikrokontroler. Mikrokontroler bisa mengendalikan sistem seperti manusia harus menggunakan algoritma atau bisa di sebut kumpulan perintah yang di buat oleh manusia agar bisa di proses dan di jalankan oleh mikrokontroler, sehingga mikrokontroler dapat bekerja dan di kendalikan sesuai dengan intruksi manusia. [6-7]

Metode *fuzzy logic* yang sering digunakan adalah Sistem *fuzzy logic type-1*, tetapi *fuzzy logic type-1* hanya mampu menangani permasalahan ketidak pastian dalam kondisi tertentu saja. Menurut (Prof, Lotfi Zadeh, 1965) nilai keanggotaan fuzzy logic type-1 merupakan nilai tegas dalam artian belum mempresentasikan ketidak pastian.

Pada penelitian yang telah dilakukan oleh (Musta'al Rahmatullah, 2021) tentang Rancang Bangun dan Analisa Unjuk Kerja *Single Axis Solar Tracker* Berbasis Logika Fuzzy didapatkan rata-rata tegangan sebesar 19,12 V, arus sebesar 1,71 A dan daya 33,05 W. Tetapi pada penelitian yang dilakukan menggunakan metode *fuzzy logic type-1* yang hanya terdapat satu derajat ke anggotaan sehingga mengakibatkan dalam pengendalian kurang akurat karena belum mempresentasikan ketidakpastian.

Derajat keanggotaan ini adalah pemetaan nilai-nilai yang di gunakan untuk merepresentasikan masalah dan digunakan untuk pengambilan keputusan yang tepat dan akurat. Dalam rangka meningkatkan kinerja dari *solar tracker single axis* dan mengatasi permasalahan ketidakpastian posisi matahari. Maka dalam penelitian skripsi ini akan dirancang dan dikembangkan kinerja dari kendali *solar tracker single axis* yang semula menggunakan metode kendali *fuzzy logic type-1* menjadi metode kendali *fuzzy logic type-2*. *Fuzzy logic type-2* mempunyai proses yang lebih kompleks karena *fuzzy logic type-2* mempunyai dua derajat ke anggotaan yaitu *upper membership function* (UMF) dan *lower membership function* (LMF). Sehingga kendali fuzzy logic type-2 cocok digunakan untuk kendali *solar tracker single axis* yang berhubungan langsung pada ketidakpastian posisi matahari. [6-7]

B. Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah dibahas maka dapat dirumuskan permasalahan yang akan dihadapi sebagai berikut :

1. Bagaimana merancang dan mengimplementasikan kendali *solar tracker single axis* menggunakan metode logika fuzzy tipe-2 ?

2. Bagaimana perolehan energi listrik panel surya polikristalin 100 WP menggunakan *single axis solar tracker* dengan kendali logika fuzzy tipe-2?

C. Tujuan

penelitian skripsi merancang sistem kendali *solar tracker single axis* menggunakan metode *fuzzy logic type-2* sebagai berikut :

1. Merancang dan mengimplementasikan sistem kendali *solar tracker single axis* menggunakan metode *fuzzy logic type-2*.
2. Menggunakan metode *fuzzy logic type-2* untuk meningkatkan performansi *solar tracker single axis* dan mengoptimalkan panel surya dalam penyerapan energi matahari.

D. Manfaat

Manfaat dari penelitian skripsi merancang sistem kendali *solar tracker single axis* menggunakan metode *fuzzy logic type-2* adalah *solar tracker single axis* dapat digunakan pada semua wilayah atau area. Selain itu sistem *solar tracker single axis* yang di rancang menggunakan sistem kendali *fuzzy logic type-2* dapat membantu dalam upaya mengatasi masalah pengoptimalan energi baru terbarukan.

II. TINJAUAN PUSTAKA

A. Solar Tracker

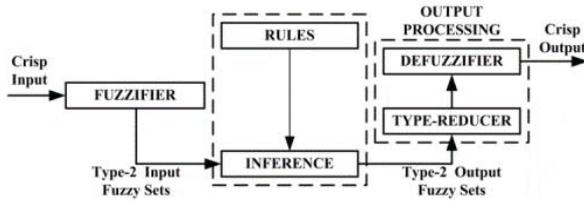
Untuk menaikan kemampuan panel surya dan dapat mengikuti arah datang sinar matahari di butuhkan suatu sistem yaitu *solar tracker*. *Solar tracker* terdapat dua jenis yaitu *solar tracker single-axis* dan *solar tracker dual-axis* yang membedakan keduanya adalah pada sistem kerjanya. *Solar tracker single axis* merupakan sistem kendali untuk melacak matahari dengan menggunakan satu sudut derajat kebebasan yaitu kiri dan kanan, sedangkan *solar tracker-dual axis* menggunakan dua sudut derajat kebebasan yaitu kiri-kanan dan atas-bawah. Sudut derajat kebebasan merupakan sudut yang bertindak sebagai sumbu rotasi pada panel surya sesuai dengan arah terbit sampai terbenam matahari.

B. Panel Surya

Panel surya yaitu modul yang di gunakan untuk mengkonversi cahaya menjadi energi listrik dengan menggunakan *photovoltaik*. Prinsip kerja dari panel surya adalah apabila sel surya terkena cahaya matahari bahwa elektron-elektron yang membentuk panel surya bergerak dari N ke P sehingga dapat membangkitkan energi listrik. Tegangan listrik yang dihasilkan setiap sel surya sebesar 0,6VDC tanpa beban dan pada saat di beri beban sebesar 0,45VDC. Kombinasi dari sel surya dapat di pasang secara seri maupun paralel ataupun seri-paralel (campuran) sehingga dapat menghasilkan energi listrik dengan arus dan tegangan yang besar.

C. Metode Fuzzy Logic Type-2

Logika fuzzy tipe-2 yaitu peningkatan dari fuzzy tipe-1 dikarenakan pada fuzzy tipe-1 hanya menangani tingkat ketidak pastian yang terbatas atau dalam artian belum mempresentasikan ketidak pastian.

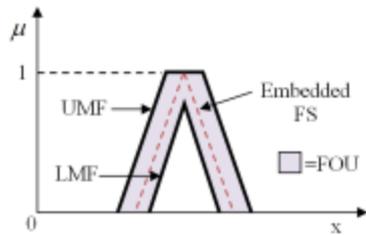


Gambar 2.1 blok diagram Fuzzy Type-2

Logika fuzzy type-2 mempunyai empat proses utama yaitu :

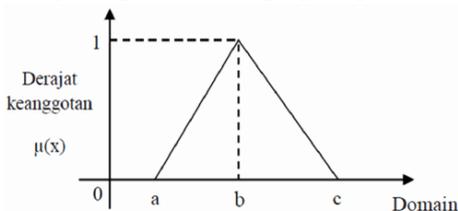
1. Fuzzifikasi

Pada proses ini sama seperti pada fuzzy logic tipe-1 yaitu pemetaan nilai tegas dengan cara menggunakan fungsi keanggotaan. Perbedaan fuzzy type-2 terdapat dua fungsi keanggotaan, adalah *upper membership function* dan *lower membership function*. Kedua fungsi keanggotaan di batasi oleh daerah yang disebut footprint of uncertainty (FOU). Untuk membentuk footprint of uncertainty dibutuhkan kombinasi dari beberapa fuzzy tipe-1.



Gambar 2.2 grafik fuzzy type-2

Pada penelitian skripsi menggunakan representasi kurva segitiga karena kurva segitiga mempunyai proses lebih cepat, sehingga mikrokontroler juga dapat menyelesaikan masalah dengan cepat. Kurva segitiga dapat di rumuskan :



Gambar 2.3 grafik membership function

$$\mu_A(X) = \left\{ \begin{array}{ll} \frac{x-a}{b-a} & a \leq x \leq b \\ \frac{c-x}{c-b} & b \leq x \leq c \\ 0 & x \leq a \text{ dan } x \geq c \end{array} \right\} \quad (1)$$

2. Inferensi dan aturan dasar

Inferensi dan aturan dasar pada fuzzy logic tipe-2 pada dasarnya sama dengan inferensi dan aturan dasar pada fuzzy logic tipe-1 yaitu if-then rules.

3. Reduksi tipe

Reduksi tipe merupakan tahapan proses hanya dimiliki oleh fuzzy logic-2. Proses ini merupakan proses yang digunakan untuk mengubah fuzzy tipe-2 menjadi fuzzy tipe-1. Sehingga dapat di rumuskan

$$C_I = \frac{L_1 + R_1}{2} \quad (2)$$

L_1 adalah derajat keanggotaan *upper* dan R_1 adalah derajat keanggotaan *lowwer*.

4. Defuzzifikasi

Defuzzifikasi merupakan proses mengubah nilai himpunan kesimpulan menjadi nilai tegas. Hasil dari defuzzifikasi yang digunakan untuk mengendalikan motor *solar tracker single axis*. Defuzzifikasi dapat dirumuskan

$$Y = \frac{\sum_{i=1}^n a_i z_i}{\sum_{i=1}^n a_i} \quad (3)$$

Y merupakan nilai crisp atau nilai defuzzyfikasi dari fuzzy, a_i merupakan derajat keanggotaan fuzzy dan z_i merupakan nilai output fuzzy.

D. Motor Aktuator Linear

Motor aktuator linear adalah alat yang bekerja mengubah gerakan rotasi menjadi gerakan linear. Motor aktuator linear terdiri dari dari motor DC, beberapa gear, dan dua tabung yang berfungsi sebagai penggerak naik dan turun lengan.

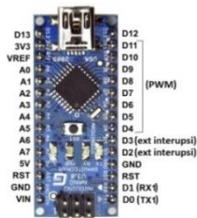


Gambar 2.4 motor aktuator linear

sistem kerja dari motor aktuator linear yaitu apabila di beri sinyal berupa nilai duty cycle 255 maka lengan motor akan bergerak naik sesuai kendali yang di setting pada arah datang sinar matahari, sedangkan jika motor aktuator diberi sinyal berupa nilai duty cycle 0, maka motor aktuator linear akan diam, sesuai kendali yang di setting pada arah datang sinar matahari.

E. Arduino NANO

Arduino NANO merupakan papan mikrokontroler yang mudah digunakan, karena dalam pemrograman arduino tanpa menggunakan *hardware eksternal*. Arduino NANO menggunakan mikrokontroler Atmega328, terdapat 6 pin yang dapat digunakan sebagai *ouput PWM*, 6 input analog, dan tegangan operasi 7-12Vdc. Pada penelitian skripsi penggunaan Arduino Nano digunakan sebagai otak kendali menggunakan *fuzzy logic type-2*.



Gambar 2.5 arduino nano

F. Sensor Light Dependent Resistor(LDR)

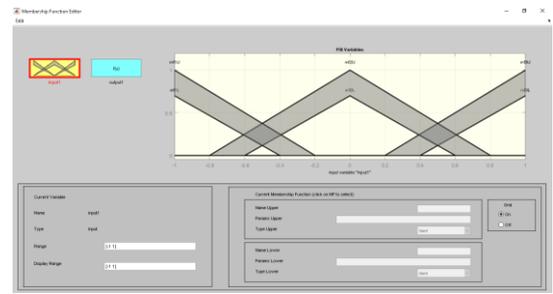
Sensor LDR adalah sensor yang dapat digunakan untuk mendeteksi cahaya, sensor LDR dapat mendeteksi cahaya dengan cara merubah resistansi apabila menerima cahaya. Sistem kerja dari sensor LDR ini adalah apabila sensor menerima cahaya yang besar maka nilai resistansinya semakin kecil.



Gambar 2.6 Light Dependent Resistor

G. Perangkat Lunak Matrix Laboratory (MATLAB)

Matlab (*Matri Laboratory*) adalah perangkat lunak yang digunakan untuk mempermudah memecahkan permasalahan matematika. Menurut (Firmansyah, A. 2007) Matlab merupakan perangkat lunak yang di khususkan untuk kebutuhan komputasi teknis, visualisasi dan pemrograman seperti komputasi matematik, analisis data, pengembangan algoritma, simulasi dan grafik-grafik perhitungan.



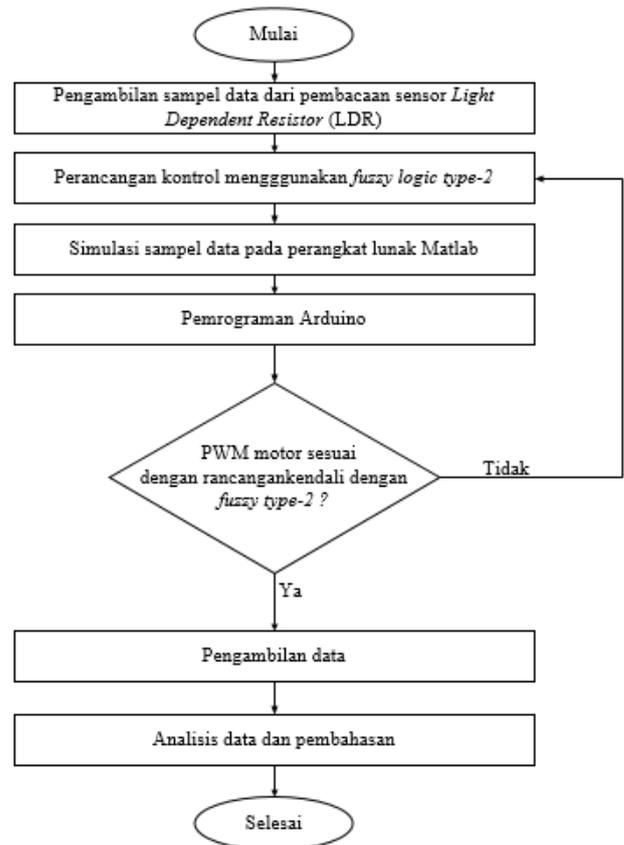
Gambar 2.2 toolbox matlab

Terkait penelitian skripsi menggunakan metode *fuzzy logic type-2*, akan menggunakan fasilitas yang disediakan oleh matlab yaitu *toolbox fuzzy type-2*. *Toolbox fuzzy type-2* pada Matlab dapat mempermudah untuk menyelesaikan nilai-nilai ketidak pastian yang akan di selesaikan menggunakan metode fuzzy logic type-2 dan digunakan untuk menentukan aturan-aturan yang akan di modelkan pada kendali *solar tracker single axis*

III. METODOLOGI PENELITIAN

A. Metode Penelitian

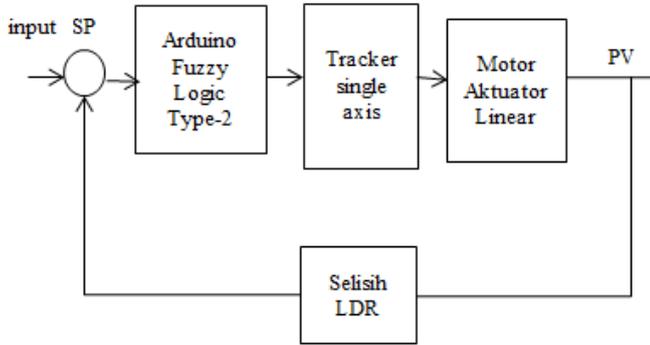
Langkah-langkah merancang kendali solar tracker single axis menggunakan kontrol *fuzzy logic type-2*. Berikut merupakan diagram alur dalam pengerjaan penelitian skripsi adalah sebagai berikut.



Gambar 3.1 Diagram alurr penelitian skripsi

B. Diagram Blok

Solar tracker single axis yang di susun dari beberapa komponen-komponen penting yang meliputi sensor *Light Dependent Resistor*, motor aktuator linier, papan mikrokontroler arduino dan panel surya.



Gambar 3.2 blok diagram sistem

C. Pemetaan Sampel Data Sensor LDR

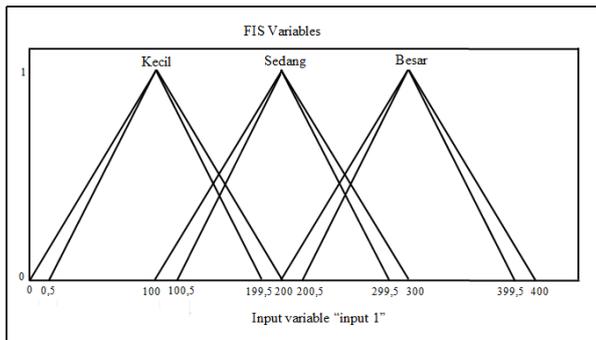
Pengambilan data Sampel sensor LDR digunakan untuk memproses fuzzy logic Type-2.

| Fungsi keanggotaan | Nilai |
|--------------------|---------------------|
| Kecil Upper | [0 100 200 1] |
| Kecil Lowwer | [0,5 100 199,5 1] |
| Sedang Upper | [100 200 300 1] |
| Sedang Lowwer | [100,5 200 299,5 1] |
| Besar Upper | [200 300 400 1] |
| Besar Lowwer | [200,5 300 399,5 1] |

Gambar 3.3 gambar pengambilan data

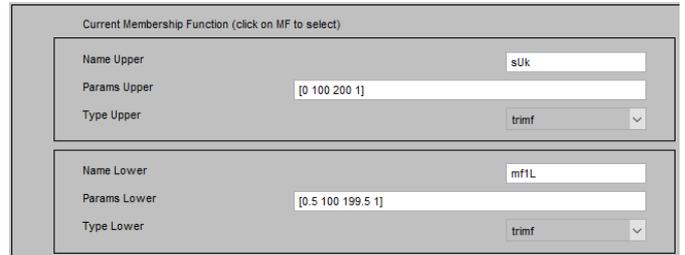
D. Simulasi Pada Matlab

Pemetaan nilai-nilai dari pengambilan sampel sensor LDR disimulasikan menggunakan toolbox fuzzy logic type-2 pada perangkat lunak Matlab.



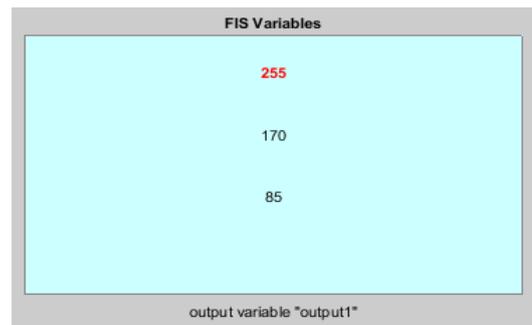
Gambar 3.4 pemetaan pola fuzzy type-2

Pada gambar 3.4 merupakan grafik pemetaan nilai selisih yang di dapat dari pembacaan sampel sensor LDR. Grafik yang dipakai menggunakan grafik segitiga karena mudah di implementasikan pada papan mikrokontroler.



Gambar 3.5 memasukan parameter membership function

Pada simulasi toolbox Matlab dengan mengatur footprint of uncertainty (FOU) sebesar ±0,5 sebagai inputan fuzzy logic type-2.

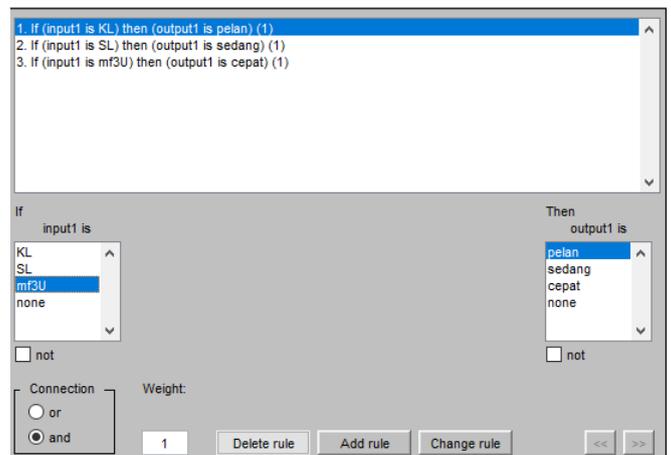


Gambar 3.6 memasukan parameter output

Gambar 3.6 merupakan pemetaan fungsi keanggotan output. Nilai output merupakan nilai dari PWM motor dengan memasukan nilai pelan sebesar 85, nilai sedang sebesar 170 dan nilai cepat sebesar 255.

Table 3.1 rule fuzzy type-2

| | | | |
|-------------|-------|--------|-------|
| SELISIH | KECIL | SEDANG | BESAR |
| OUTPUT(PWM) | PELAN | SEDANG | CEPAT |



Gambar 3.7 menentukan rule

Pada pengendalian menggunakan *fuzzy logic type-2* dirancang dengan dengan *Rule base*, jika nilai selisih kecil maka motor mengeksekusi dengan pelan sampai nilai selisih sama dengan nol. Begitupun dengan kondisi nilai selisih sedang dan besar.

E. Pemrograman Arduino

```

unsigned char selisihKecil()
{
  if (input1 == 0){@_LDR1=0;}
  else if (input1 >=0 && input1 <=100){@_LDR1=(input1-0)/100;}
  else if (input1>=100 && input1<=200){@_LDR1=(200-input1)/100;}
  else if (input1>= 200){@_LDR1=0;}
  return @_LDR1;
}

unsigned char selisihSedang()
{
  if (input1== 100){@_LDR2=0;}
  else if (input1 >=100 && input1 <=200){@_LDR2=(input1-100)/100;}
  else if (input1 >=200 && input1 <=300){@_LDR2=(300-input1)/100;}
  else if (input1 >= 300){@_LDR2=0;}
  return @_LDR2;
}

unsigned char selisihBesar()
{
  if (input1 <= 200){@_LDR3 =0;}
  else if (input1 >=200 && input1 <=300){@_LDR3=(input1-200)/100;}
  else if (input1 >=300 && input1 <=400){@_LDR3=(400-input1)/100;}
  else if (input1 >= 300){@_LDR3 =0;}
  return @_LDR3;
}

```

Gambar 3.8 pemrograman arduino

Setelah melakukan simulasi pada Matlab. Langkah selanjutnya yaitu memprogram papan mikrokontroler arduino, agar bisa mengeksekusi solar tracker sesuai dengan hasil simulasi.

IV. ANALISIS DAN PEMBAHASAN

Pengujian perolehan penyerapan energi panel surya dengan *solar tracker single axis* dengan metode *fuzzy logic type-2* akan dibandingkan dengan metode *fuzzy logic type-1*. Pengujian dilakukan selama 9 jam dari jam 08.00 pagi sampai jam 17.00 sore. Dan pengujian metode dibandingkan antara perhitungan manual, perhitungan matlab dan perhitungan pada papan mikrokontroler arduino.

A. Analisis Metode Fuzzy Logic Type-2

Pengujian metode *fuzzy logic type-2* dilakukan dengan membandingkan antara hitungan manual, perhitungan pada Matlab, dan output pada papan mikrokontroler arduino.

1. Perhitungan Manual

Jika menginputkan nilai selisih LDR sebesar 31 nilai pemetaan *fuzzy logic type-2* mengacu pada gambar 3.4, 3.5, dan 3.6.

a. Fuzzyfikasi

$$\text{Kecil Upper} = \frac{31-0}{100-0} = 0,31$$

$$\text{Kecil Lower} = \frac{31-0,5}{100-0,5} = 0,306$$

b. Inferensi

Jika nilai kecil maka output pwm pelan

c. Reduksi Tipe

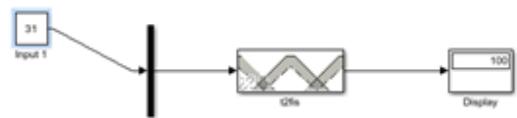
$$C_j = \frac{0,31+0,306}{2} = 0,308$$

d. Defuzzyfikasi

$$Y = \frac{\sum_{i=1}^n a_i z_i}{\sum_{i=1}^n a_i} = \frac{0,308 \times 100}{0,308} = 100$$

Hasil perhitungan manual fuzzy type-2 didapatkan nilai ouput pwm sebesar 100

2. Perhitungan Matlab



Gambar 4.1 perhitungan matlab

Hasil perhitungan simulasi menggunakan matlab didapatkan nilai ouput pwm sebesar 100.

3. Perhitungan pemrograman arduino

```

COM7
input1: 31.00
S_LDR1 : 0.31S_LDR2 : 0.00S_LDR3 : 0.00
S_LDR4 : 0.30S_LDR5 : 0.00S_LDR6 : 0.00
RT1 : 0.31
RT2 : 0.00
RT3 : 0.00
Rule1 : 30.75
Rule2a : 0.00
Rule3 : 0.00
out: 100.00

```

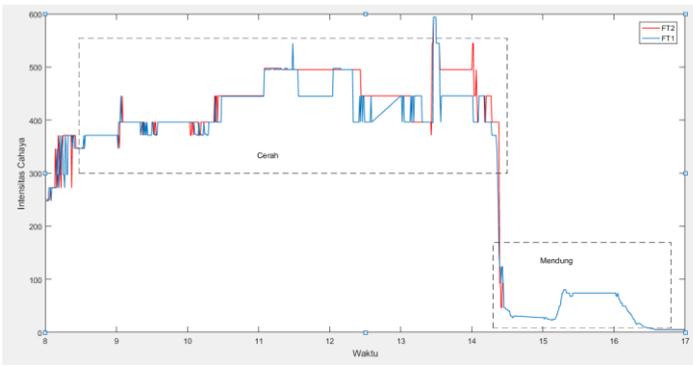
Gambar 4.2 perhitungan program arduino

Hasil implementasi program pada papan mikrokontroler arduino didapatkan nilai output pwm sebesar 100.

B. Analisis Intensitas Cahaya

Tabel 4.1 Intensitas cahaya

| Waktu | Intensitas Cahaya | |
|-------|-------------------|----------|
| | FT1 | FT2 |
| 09.00 | 322,6298 | 328,6886 |
| 10.00 | 387,543 | 388,3443 |
| 11.00 | 399,5773 | 410,0973 |
| 12.00 | 487,3082 | 489,3883 |
| 13.00 | 451,7707 | 481,88 |
| 14.00 | 439,7737 | 446,815 |
| 15.00 | 283,8492 | 299,373 |
| 16.00 | 54,38017 | 54,77746 |
| 17.00 | 31,336 | 31,342 |



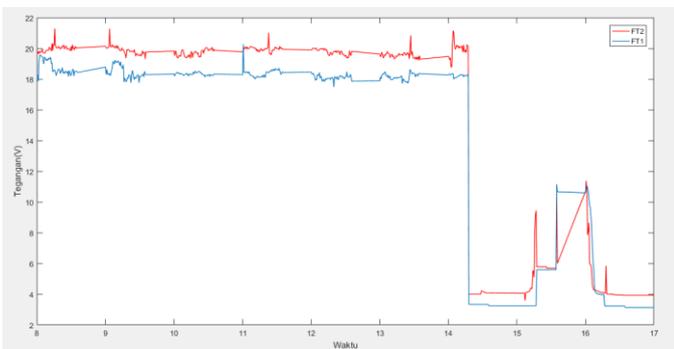
Gambar 4.3 pengujian intensitas cahaya

Dari grafik diatas dapat diketahui bahwa metode *fuzzy logic type-1* dan *fuzzy logic type-2* dapat sama sama mengikuti cahaya matahari, tetapi terdapat perbedaan rata-rata selama dalam 9 jam. *Fuzzy logic type-2* mendapat rata-rata nilai intensitas cahaya sebesar 323,98 W/M² dan *fuzzy logic type-1* mendapat rata-rata sebesar 318,90 W/M²

C. Analisis Tegangan

Tabel 4.2 Tegangan

| Waktu | Tegangan | |
|-------|----------|----------|
| | ft1 | ft2 |
| 09.00 | 18,72017 | 19,97767 |
| 10.00 | 18,43322 | 19,87363 |
| 11.00 | 18,323 | 19,6975 |
| 12.00 | 18,39083 | 19,96167 |
| 13.00 | 18,09967 | 19,76583 |
| 14.00 | 18,14533 | 19,55283 |
| 15.00 | 10,782 | 11,997 |
| 16.00 | 4,42 | 5,222167 |
| 17.00 | 4,964918 | 4,886066 |



Gambar 4.4 pengujian tegangan

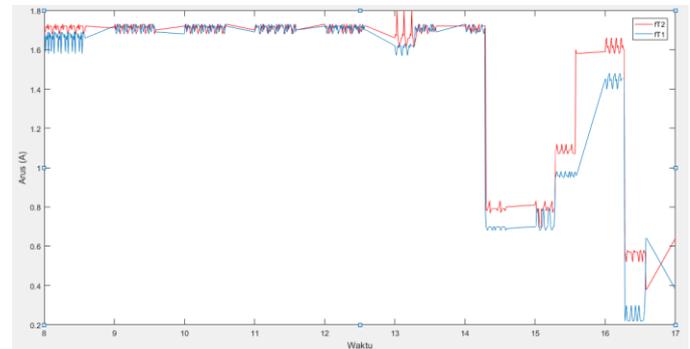
Pada gambar grafik perbandingan keluaran tegangan tersebut nilai tegangan yang dihasilkan oleh panel surya menggunakan *solar tracker* dengan metode *fuzzy logic type-2* dan *fuzzy logic type-1* dapat sama-sama menjaga titik tegangan maksimum nya. pada saat pengujian terdapat dua kondisi yaitu cerah dan kondisi mendung, pada kondisi cerah nilai tegangan rata-rata yang dihasilkan solar tracker dengan *fuzzy logic type-2*

2 sebesar 19,80Vdc dan *solar tracker fuzzy logic type-1* yaitu sebesar 18,35Vdc, pada kondisi mendung nilai tegangan rata-rata yang dihasilkan oleh *solar tracker* dengan *fuzzy logic type-2* sebesar 7,34Vdc dan *solar tracker fuzzy logic type-1* sebesar 6,68Vdc.

D. Analisis Arus

Tabel 4.2 Arus

| Waktu | Arus (A) | | Kondisi |
|-------|----------|----------|---------|
| | ft1 | ft2 | |
| 09.00 | 1,656333 | 1,709333 | Cerah |
| 10.00 | 1,709153 | 1,713156 | Cerah |
| 11.00 | 1,709833 | 1,710833 | Cerah |
| 12.00 | 1,709667 | 1,7105 | Cerah |
| 13.00 | 1,707167 | 1,712 | Cerah |
| 14.00 | 1,685833 | 1,660667 | Cerah |
| 15.00 | 1,183833 | 1,2525 | Mendung |
| 16.00 | 0,8435 | 0,935667 | Mendung |
| 17.00 | 0,828033 | 1,076066 | Mendung |



Gambar 4.5 pengujian arus

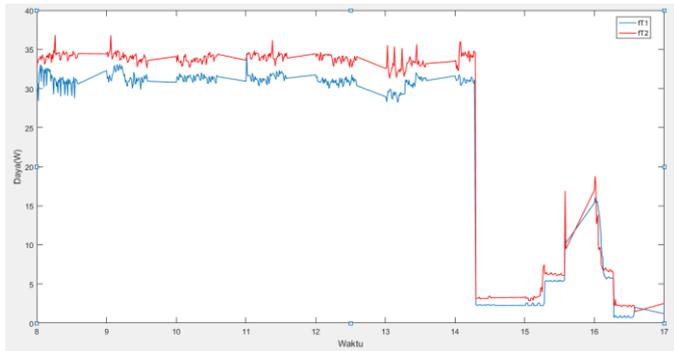
Pada gambar grafik perbandingan keluaran arus tersebut nilai arus yang dihasilkan oleh panel surya menggunakan *solar tracker* dengan metode *fuzzy logic type-2* dan *fuzzy logic type-1* dapat sama-sama menjaga titik arus maksimum nya. pada saat pengujian terdapat dua kondisi yaitu cerah dan kondisi mendung, pada kondisi cerah nilai arus rata-rata yang dihasilkan *solar tracker* dengan *fuzzy logic type-2* sebesar 1,70A dan *solar tracker fuzzy logic type-1* yaitu sebesar 1,69A, pada kondisi mendung nilai arus rata-rata yang dihasilkan oleh *solar tracker* dengan *fuzzy logic type-2* sebesar 0,95A dan *solar tracker fuzzy logic type-1* sebesar 1,08A.

E. Analisis Daya

Tabel 4.3 Daya

| Waktu | Daya (W) | | Kondisi |
|-------|----------|-----|---------|
| | ft1 | ft2 | |

| | | | |
|-------|----------|----------|---------|
| 09.00 | 31,00684 | 34,14849 | Cerah |
| 10.00 | 31,50519 | 34,04662 | Cerah |
| 11.00 | 31,32928 | 33,69914 | Cerah |
| 12.00 | 31,44219 | 34,14443 | Cerah |
| 13.00 | 30,98663 | 33,74357 | Cerah |
| 14.00 | 30,13335 | 32,96282 | Cerah |
| 15.00 | 13,50446 | 14,20245 | Mendung |
| 16.00 | 4,135647 | 4,434864 | Mendung |
| 17.00 | 5,342577 | 3,95698 | Mendung |



Gambar 4.6 pengujian daya

Pada gambar grafik perbandingan keluaran daya tersebut nilai daya yang dihasilkan oleh panel surya menggunakan *solar tracker* dengan metode *fuzzy logic type-2* dan *fuzzy logic type-1* dapat sama-sama menjaga titik daya maksimum nya. pada saat pengujian terdapat dua kondisi yaitu cerah dan kondisi mendung, pada kondisi cerah nilai daya rata-rata yang dihasilkan *solar tracker* dengan *fuzzy logic type-2* sebesar 33,790W dan *solar tracker fuzzy logic type-1* yaitu sebesar 31,067W, pada kondisi mendung nilai daya rata-rata yang dihasilkan oleh *solar tracker* dengan *fuzzy logic type-2* sebesar 7,53W dan *solar tracker fuzzy logic type-1* sebesar 7,66W. Sehingga panel surya selama 9 jam dapat menyerap energi sebesar 225,3394Wh dengan menggunakan *solar tracker* metode *fuzzy logic type-2* dan panel surya dengan *solar tracker* menggunakan *fuzzy logic type-1* dapat menyerap energi sebesar 209,3862Wh

V. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil yang telah didapatkan, maka diperoleh hasil kesimpulan antara lain :

1. Metode logika fuzzy tipe-2 dapat di implementasikan sesuai konsep perancangan pada *single axis solar tracker* dengan hasil sama antara perhitungan manual, perhitungan matlab, dan hasil eksekusi papan mikrokontroler arduino.
2. *Single axis solar tracker* dengan metode logika fuzzy tipe-2 dapat memperoleh energi listrik sebesar 225,33Wh. Hasil tersebut lebih besar dibanding dengan *Single axis solar tracker* dengan metode logika fuzzy

tipe-1 yang memperoleh energi listrik sebesar 209,38Wh, sehingga didapatkan persentase kenaikan perolehan energi listrik sebesar 7,61%.

VI. REFERENSI

- [1] I. H. Rosma, I. M. Putra, D. Y. Sukma, E. Safrianti, A. A. Zakri, and A. Abdulkarim , “Analysis of single axis sun tracker system to increase solar photovoltaic energy production in the tropics,” *Proc. - 2018 2nd Int. Conf. Electr. Eng. Informatics Towar. Most Effic. W. Mak. Deal. With Futur . Electric. Power Syst. Big Data Analisis. Icon EEI 2018*, no. October, pp. 183–186, 2018, doi: 10.1109/Icon-EEI.2018.8784311.
- [2] H. M. Fahad, A. Islam, M. Islam, M. F. Hasan, W. F. Brishty, and M. M. Rahman, “Comparative analysis of dual and single axis solar tracking system considering cloud cover,” *Int. Conf. Energy Power Eng. Power Progress , ICEPE 2019*, no. c, pp. 1–5, 2019, doi: 10.1109/CEPE.2019.8726646.
- [3] S. Ray and A. K. Tripathi, “Design and development of Tilted Single Axis and Azimuth-Altitude Dual Axis Solar Tracking systems,” *1st. IEEE Int. Conf. Power Electron. Intell. Control Energy Syst. ICPEICES 2016*, pp. 1–6, 2017, doi: 10.1109/ICPEICES.2016.7853190.
- [4] I. W. Sutaya and K. Udy Ariawan, “SOLAR TRACKER CERDAS DAN MURAH BERBASIS MIKROKONTROLER 8 BIT ATmega8535,” *JST (Jurnal Sains dan Teknol.*, vol. 5, no. 1, pp. 673–682, 2016, doi: 10.23887/jst-undiksha.v5i1.8272.
- [5] P. Rani, O. Singh, and S. Pandey, “An Analysis on Arduino based Single Axis Solar Tracker,” *2018 5th IEEE Uttar Pradesh Sect. Int. Conf. Electr. Electron. Comput. Eng. UPCON 2018*, pp. 1–5, 2018, doi: 10.1109/UPCON.2018.8596874.
- [6] A. Meylani and A. S. Handayani, “Perbandingan Kinerja Sistem Logika Fuzzy Tipe-1 dan Interval Tipe-2 pada Aplikasi Mobile Robot,” *Comput. Sci. ICT*, vol. 3, no. 1, pp. 209–214, 2017.
- [7] D. Pembimbing, A. U. Krismanto, and F. T. Industri, “Rancang Bangun Dan Analisa Unjuk Kerja Single Axis Solar Tracker Berbasis Logika Rancang Bangun Dan Analisa Unjuk Kerja Single Axis Solar Tracker Berbasis Logika,” 2021.

VII. BIODATA PENULIS

FOTO
MAHA
SISWA