

SOLAR TRACKER DUAL AXIS DENGAN METODE FUZZY TYPE 1 BERBASIS ARDUINO

¹Heldi Bafadhal, ²Awan Uji Krismanto, ³I Komang Somawirata

^{1,2,3}Institut Teknologi Nasional, Malang, Indonesia

¹heldiae123@gmail.com, ²awan_uji_krismanto@lecturer.itn.ac.id, ³kmsomawirata@lecturer.itn.ac.id

Abstract—Pemanfaat energi surya sebagai salah satu sumber energi baru terbarukan semakin mendapatkan perhatian luas dalam beberapa dekade terakhir, dikarenakan pitensinya yang dapat mengurangi ketergantungan terhadap penggunaan bahan bakar fosil dalam pembangkit listrik. Namun efesiensi pengumpulan energi surya menjadi tantangan terutama dalam menghadapi variasi cuaca yang saat ini tidak menentu dan perubahan posisi matahari sepanjang hari. Dalam upaya peningkatan efesiensi energi ini maka penelitian ini dibuat solar tracker dual axis dengan metode logika fuzzy berbasis arduino. Penelitian ini diharapkan dapat memperkenalkan pendekatan baru dalam pengoptimalan penjejakan posisi matahari dengan menggunakan perhitungan logika fuzzy dengan sistem kendali. Sistem ini dimaksudkan untuk mengatasi kelemahan sistem kendali konvensional dalam mengatasi ketidakpastian dan variasi sistem yang kompleks. Efisiensi pengumpulan energi surya dengan mengoptimalkan penjejakanposisi matahari secara real – time. Penelitian ini menunjukkan potensi besar dalam penerapan teknologi sistem kendali dengan metode logika fuzzy dalam upaya meningkatkan efisiensi energi yang dapat dihasilkan oleh suatu panel surya. Dengan menggunakan logika fuzzy pada sistem kendali penyerapan energi matahari lebih maksimal terbukti dari hasil output yang dihasilkan lebih stabil dari panel surya statis dengan melakukan pengukuran secara bersamaan diwaktu yang sama dan hari yang sama. Sistem yang telah dirancang menggunakan fuzzy dapat menunjukkan respon yang sesuai dengan program dan algoritma yang telah di buat pada Matlab maupun pada Arduino IDE. Terbukti dengan bergeraknya motor penggerak sesuai dengan rule base yang sudah dibuat pada matlab,Perbandingan hasil output tegangan dan arus yang dihasilkan oleh panel surya menggunakan sistem tracking fuzzy terbukti lebih stabil dari panel surya tanpa sistem tracking dengan hasil rata-rata tegangan yang dihasilkan oleh panel surya dengan sistem tracking sebesar 20 V dan rata-rata tegangan yang dihasilkan tanpa sistem tracking sebesar 17,5 v dengan rata-rata arus yang dihasilkan sebesar 15 watt dan dengan sistem tracking sebesar 75 watt.

Kata kunci: Sistem Kendali, Efisiensi Energi, Logika Fuzzy.

I. PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Perkembangan teknologi yang sangat pesat diikuti dengan konsumsi energi yang semakin meningkat, maka penggunaan energi terbarukan menjadi solusi sebagai pasokan energi dunia. Mulai dari pembangkit listrik tenaga angin hingga sumber energi terbarukan lainnya yang tidak akan habis. Energi surya adalah energi terbarukan dan dapat digunakan sebagai pembangkit energi listrik dengan pemanfaatan sel surya sebagai salah satu alat yang dapat digunakan untuk memanfaatkan energi matahari [1].

Selama ini solar cell dipasang statis, horizontal atau dengan kemiringan tertentu. Hal ini menyebabkan solar cell sulit menyerap energi matahari secara efisien karena matahari bergerak, dari arah timur ke barat. Penyerapan energi matahari akan efisien jika arah pencahayaan matahari tegak lurus terhadap solar cell. Jadi, perlu dilakukan sesuatu untuk mengarahkan solar cell agar tegak lurus dengan matahari. kebanyakan solar cell yang terpasang masih statis (dengan kemiringan tertentu), hal ini membuat penerimaan cahaya tidak efisien. Perlu dibuat kendali yang membuat solar cell mengikuti pergerakan matahari dari timur ke barat.[2]

Sistem kendali tracking sinar matahari merupakan salah satu pengembangan teknologi dalam rangka konservasi energi dengan memanfaatkan energi matahari. Sistem kendali tracking dibuat untuk diterapkan lebih lanjut pada sebuah perangkat panel surya sebagai alat pengumpul energi matahari sehingga posisi panel surya dinamis. Solar tracking merupakan rangkain control yang mampu mendeteksi dan mengikuti arah matahari agar solar cell selalu tegak lurus dengan matahari supaya intensitas matahari yang diterima sel surya optimum dengan cara mengatur gerakan motor. Prinsip sistem kendali ini adalah menjejak pergerakan sinar matahari dari matahari terbit sampai tenggelam agar panel selalu tegak lurus dengan matahari sehingga jumlah sinar yang diperoleh

maksimal dan menghasilkan daya yang maksimal juga. [3] [4].

Penelitian ini menggunakan metode fuzzy logic untuk mengatur nilai inputan dari Arduino. Data hasil pengontrolan berupa sinyal Pulse Width Modulation (PWM) yang kemudian dikirim ke driver motor dc. Pulsa dari driver kemudian diteruskan ke motor dc sehingga motor bergerak dan menggerakkan sel surya mengikuti cahaya matahari dengan pergerakan yang lebih smooth/step by step untuk menghasilkan daya optimal pada sel surya. Sinyal PWM horizontal akan menggerakkan motor dengan putaran horizontal. Motor tersebut disusun pada sistem mekanik yang porosnya dapat berputar pada sumbu X, Sinyal PWM horizontal akan menggerakkan motor dengan putaran horizontal. Motor tersebut disusun pada sistem mekanik yang porosnya dapat berputar pada sumbu Y. Sehingga panel surya bergerak double axis [11] [12].

B. Rumusan masalah

Berdasarkan paparan latar belakang di atas, maka dapat disusun rumusan masalah sebagai berikut:

1. Bagaimana cara meningkatkan efisiensi konversi energi matahari menjadi energi listrik ?
2. Bagaimana cara meningkatkan tegangan , arus dan daya yang dihasilkan oleh panel surya?

B. tujuan penelitian

3. Untuk meningkatkan tegangan, arus dan daya yang dapat diperoleh oleh suatu panel surya .
4. Mengukur tegangan, arus dan daya yang diperoleh panel surya.
5. Untuk menganalisa data perolehan energi matahari yang dapat diperoleh oleh suatu panel surya.

II. TINJAUAN 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. [4]

B. Efisiensi Energi

Efisiensi energi suatu panel surya adalah kemampuan panel untuk mengubah energi cahaya matahari atau energi surya menjadi suatu energi listrik. Hal ini adalah suatu parameter penting karena semakin tinggi efisiensi panel surya maka akan semakin banyak energi yang dapat dihasilkan dari jumlah cahaya matahari yang telah diterima oleh suatu panel surya. Efisiensi energi diukur dalam suatu persentase yaitu perbandingan antara energi listrik yang dihasilkan oleh panel surya dengan energi cahaya matahari yang diterimanya. [2]

Efisiensi energi pada solar PV menjadi alasan utama mengapa diperlukan sistem solar tracker untuk meningkatkan produksi energi listrik dari suatu solar PV. Penggunaan panel surya memiliki kendala utama yaitu kecilnya efisiensi yang dihasilkan yang hanya sekitar 16 % [2]

C. 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. Ketebalan atmosfer debu, polusi, dan cuaca mempengaruhi jumlah cahaya yang mencapai permukaan panel surya [8].

D. 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. Sistem kendali ini menggunakan beberapa sensor yang berguna untuk mendeteksi posisi matahari dan menggerakkan motor yang dapat menggerakkan suatu panel surya mengikuti pergerakan dari sudut- sudut matahari.

Dengan menggunakan solar Tracker panel surya dapat menghasilkan lebih banyak energi dibandingkan dengan panel surya stand alone atau panel surya yang fixed [6] [13].

E. Sistem logika fuzzy

Sistem fuzzy merupakan sistem yang didasarkan pada aturan ataupun pengetahuan yang meliputi keseluruhan proses pengolahan input tegas menjadi output tegas menggunakan *fuzzifier, fuzzy rule base, fuzzy inference engine, dan defuzzifier* [10].

F. 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 [10].

G. Inferensi Sistem

inferensi adalah proses pengambilan keputusan atau penarikan kesimpulan berdasarkan aturan-aturan yang telah ditetapkan dalam sistem tersebut. Proses ini merupakan pengolahan data masukkan dari proses sebelumnya yaitu proses fuzzifikasi. Proses inferensi pada sistem logika fuzzy melibatkan kombinasi aturan-aturan fuzzy seperti *AND, OR, dan NOT* [10].

H. 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 [10].

I. Defuzzyfikasi

Defuzzyfikasi 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 defuzzyfikasi ialah untuk menghasilkan nilai tegas yang mempresentasikan keputusan atau tindakan yang harus diambil berdasarkan output fuzzy dari sistem logika fuzzy.

J. Sensor Light Dependent Resistor

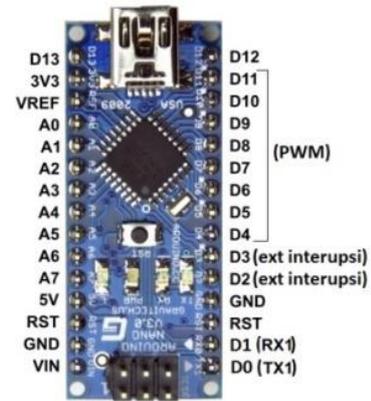


Gambar 1. *Sensor Light Dependent Resistor*

Light Dependent Resistor atau fotoresistor seperti gambar 1 merupakan sensor yang merespon intensitas cahaya dan mengubahnya menjadi tahanan. Nilai tahanan LDR akan menurun dengan peningkatannya cahaya yang mengenainya atau nilai resistansi berbanding terbalik dengan intensitas cahaya.[7]

Prinsip kerja sensor ini pada saat mendapatkan cahaya maka tahanannya turun, sehingga pada saat LDR mendapatkan kuat cahaya terbesar maka tegangan yang dihasilkan adalah tertinggi. Pada saat gelap atau cahaya redup, bahan dari cakram pada LDR menghasilkan elektron bebas dengan jumlah yang relatif kecil.[7]

K. Arduino



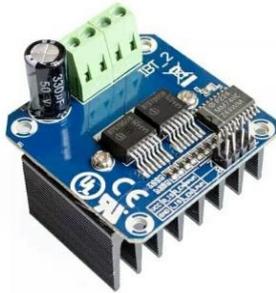
Gambar 2. Arduino nano

Arduino Nano seperti gambar 2 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.

Ada beberapa komponen utama pada Arduino nano ini yaitu ATmega328P merupakan komponen utama yang digunakan sebagai otak dari Arduino nano tersebut yang digunakan sebagai pengelola atau menjalankan kode yang telah dimaksudkan ke dalam Arduino nano. Pada Arduino nano terdapat 30 pin yang dapat digunakan atau disambungkan pada komponen-komponen atau proyek elektronika pin-pin tersebut antara lain:

- Vcc merupakan PIN yang berfungsi untuk input atau pin masukkan satu daya.
- GND merupakan PIN yang digunakan sebagai ground.
- AREF digunakan sebagai referensi tegangan untuk input analog.
- RESET digunakan untuk mereset atau menghidupkan ulang mikrokontroler.
- Serial RX (0) digunakan sebagai penerima TTL data serial.
- Serial TX (1) digunakan sebagai pengirim TTL data serial.
- External interrupt merupakan PIN yang dapat dikonfigurasi untuk dapat memicu sebuah instruksi pada nilai rendah, meningkat, atau perubahan nilai yang lain.
- Output BBM merupakan PIN yang berfungsi untuk membaca data analog.
- SPI merupakan PIN yang digunakan sebagai protokol pendukung komunikasi.
- LED merupakan PIN yang digunakan untuk menyet atau mensetting lampu.
- Input analog (A0 - A7) merupakan PIN yang berfungsi sebagai PIN yang dapat digunakan sebagai input analog.

L. Driver Motor



Gambar 3. Driver motor

Motor DC seperti gambar 3 tidak dapat dikendalikan secara langsung oleh mikrokontroler, karena kebutuhan daya listrik yang cukup besar pada motor DC sedangkan daya keluaran pada mikrokontroler sangat kecil. Sehingga mikrokontroler membutuhkan rangkaian driver yang mampu memperbesar daya dari 0 V-5 V menjadi 0 V-12. [3]

1. RPWM = *Input PWM Forward Level*, Aktif High
2. LPWM = *Input PWM Reverse Level*, Aktif High
3. R_EN = *Input Enable Forward Driver*, Aktif High
4. L_EN = *Input Enable Reverse Driver*, Aktif High
5. R_IS = *Forward Drive*, Side current alarm output
6. L_IS = *Reverse Drive*, Side current alarm output
7. Vcc = +5 V Power Supply Mikrokontroler
8. Gnd = Gnd Power Supply Mikrokontroler
B+ = Tegangan Input V+ dari baterai.
B- = Tegangan Input V- dari baterai.

M. Sensor Arus



Gambar 4. Sensor arus

Sensor arus pada gambar 4 merupakan perangkat yang berguna untuk mengukur arus listrik yang mengalir pada suatu rangkaian kelistrikan. Sensor ini sering diaplikasikan pada rangkaian 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.[3]

N. Sensor Tegangan



Gambar 5. Sensor tegangan

Sensor tegangan pada gambar 5 adalah perangkat yang digunakan untuk mengukur tegangan. Sensor tegangan dapat mengukur tegangan dengan berbagai cara, mulai dari mengukur tegangan tinggi hingga mendeteksi tingkat arus rendah [5].

O. Panel surya



Gambar 6. Panel surya

Panel surya seperti gambar 6 adalah sebuah perangkat yang tersusun dari material semi konduktor yang dapat mengubah cahaya matahari menjadi energi listrik berarus DC [3].

P. Baterai



Gambar 7. Baterai

Baterai ABC Lithium seperti gambar 7 Adalah perangkat yang digunakan sebagai tempat penyimpanan daya yang dihasilkan dari panel surya, sehingga dapat dipakai saat dibutuhkan [4].

Q. Motor DC



Gambar 8. motor dc

Motor Dc seperti pada gambar 8 merupakan salah satu aktuator yang berfungsi untuk merubah energi listrik arus DC menjadi energi gerak [2].

R. Solar Charger Controller (SCC)



Gambar 9. solar charger ontroller

Solar charger controller atau SCC seperti gambar 9 merupakan perangkat yang berfungsi untuk mengontrol kondisi baterai dan menjaga dari over charging dan over voltage, dan mengatur arus dari baterai agar tidak full discharging dan overload.. Yang dapat mengakibatkan kerusakan secara permanen Pada alat atau sistem kontroler.[3]

S. Arduino ide



Gambar 10. Arduino Ide

Arduino Ide pada gambar 10 Adalah aplikasi yang digunakan untuk memasukkan upload hasil coding ke arduino uno controller.

III. METODE PENELITIAN

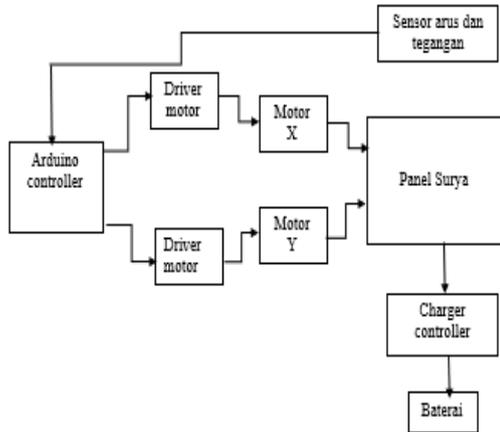
A. Alur Penelitian

Penggunaan energi listrik kian hari semakin besar, perlu adanya perubahan seperti solar tracker yang menggunakan sistem kendali berupa AI yang dapat mengontrol gerak panel surya agar dapat menghadap sinar matahari secara statis.

Yaitu dengan menerapkan sistem fuzzy ke dalam arduino yang nanti dapat mengontrol gerak panel surya melalui dua mesin yang terpasang pada panel surya.

1. Melakukan studi literatur untuk mengkaji penelitian dan teori terkait logika fuzzy .
2. Perancangan sistem kontroller.
3. Penerapan Sistem Fuzzy Logic kedalam arduino uno
4. pemasangan sistem kontroller pada panel surya.
5. Menjalankan sistem yang sudah terpasang. Pengambilan data dengan mengukur besar tegangan dan arus yang dihasilkan.
6. Menghitung daya yang dihasilkan.
7. Membandingkan data sel surya dengan tracker dan tanpa tracker.
8. Analisa dari dua data yang sudah di dapatkan.
9. Kesimpulan.

B. Blok diagram sistem

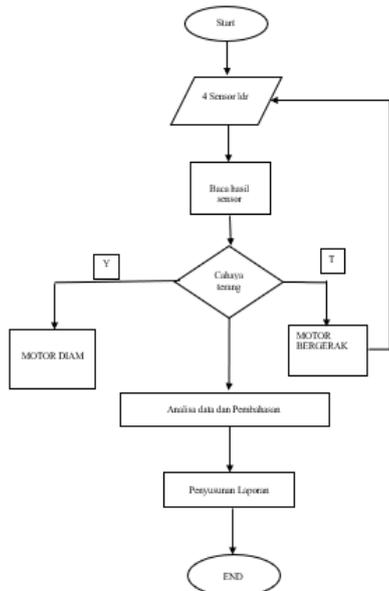


Gambar 11. Blok diagram sistem

Pertama Sensor Ldr akan mendeteksi sinar matahari selanjutnya diteruskan ke controller/arduino jika cahaya yang diterima terang maka solar tracker tidak akan bergerak tapi saat cahaya yang deteksi redup maka controller akan mengirim perintah ke motor x dan y untuk bergerak sampai mendapatkan posisi dimana yang mempunyai pancaran cahaya terbesar dan berhenti.

Untuk arus yang dihasilkan di alirkan ke baterai dengan SCC sebagai control arusnya agar baterai tidak rusak oleh pengecasan berlebih dari arus yang dihasilkan oleh panel surya.

C. Flow chart kerja



Gambar 12. Flow chart Kerja

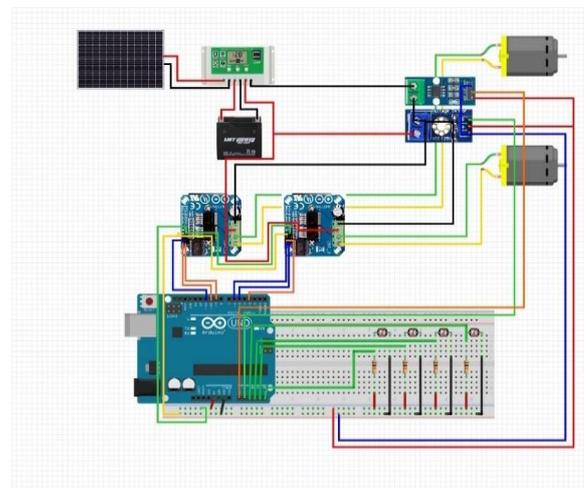
Sistem ini bekerja saat sensor ldr mendeteksi cahaya hasil pembacaan sensor akan diteruskan ke arduino apakah hasilnya terang / gelap jika hasilnya terang maka motor akan diam sesuai dengan rules yang sudah diatur yaitu horisontol / vertikal dan jika hasil pembacaan sensor gelap maka motor akan bergerak sesuai dengan rules fuzzy yang ada vertikal / horisontol untuk mencari arah sinar matahari paling terang.

D. komponen yang digunakan

Table 1. Komponen yang digunakan

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

E. perancangan komponen



Gambar 13. Perancangan sistem

1. Arduino Board (kemungkinan Arduino Nano)
 - Ini adalah komponen utama yang menjalankan kode.

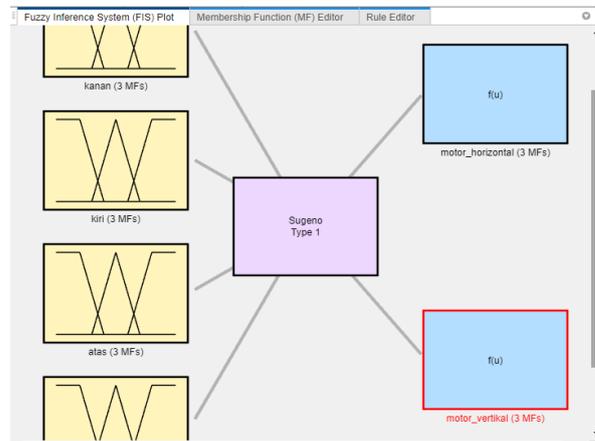
2. Sensor LDR (Light Dependent Resistor) - 4 buah
 - Terhubung ke pin analog A0, A1, A2, dan A3
 - Digunakan untuk mendeteksi intensitas cahaya dari berbagai arah
3. Sensor Tegangan
 - Terhubung ke pin analog A6
 - Digunakan untuk mengukur tegangan
4. Sensor Arus
 - Terhubung ke pin analog A7
 - Digunakan 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
8. Baterai Lithium yang terhubung dengan scc

IV. PEMBAHASAN DAN HASIL PENELITIAN

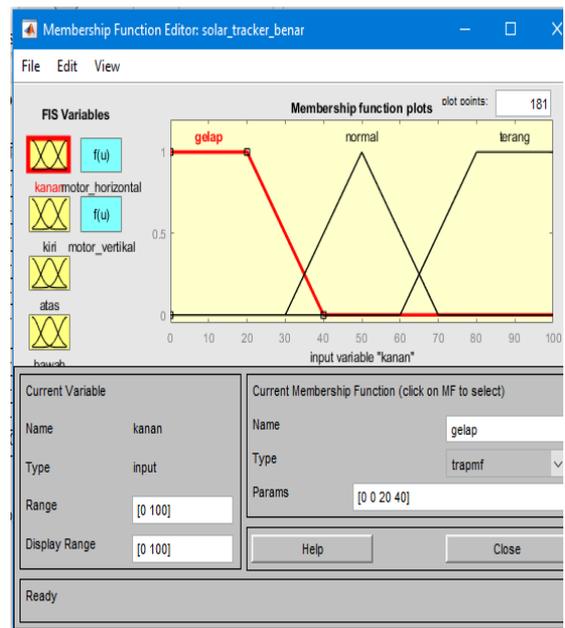
A. Hasil Rancangan Sistem

Pada bab ini membahas hasil perancangan sistem fuzzy yang nantinya akan di implementasikan pada arduino uno, dan pengukuran arus, tegangan dan membandingkan hasil antara panel surya dengan sistem tracker dan panel surya tanpa sistem tracker

B. Hasil dari perancangan sistem fuzzy



Gambar 14. sistem fuzzy



Gambar 15. Membership function

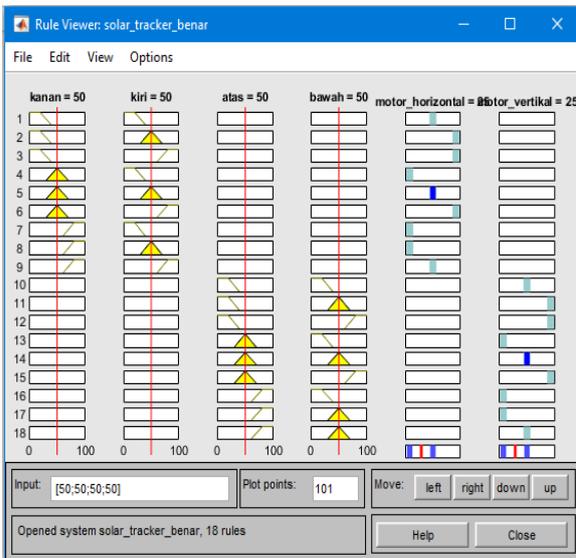
Pada gambar 15 merupakan sistem fuzzy logic yang telah dibuat dengan menggunakan 4 input yang merupakan 4 sensor ldr yang ditaur bersumbu X dan Y dan menghasilkan 2 output yang merupakan gerak tracker horizontal dan vertikal yang telah diatur dengan rules base yang telah dibuat seperti gambar dibawah.

Rule	Weight	Name
1 If kanan is gelap and kiri is gelap then motor_horizontal is OFF	1	rule1
2 If kanan is gelap and kiri is normal then motor_horizontal is CCW	1	rule2
3 If kanan is gelap and kiri is terang then motor_horizontal is CCW	1	rule3
4 If kanan is normal and kiri is gelap then motor_horizontal is CW	1	rule4
5 If kanan is normal and kiri is normal then motor_horizontal is OFF	1	rule5
6 If kanan is normal and kiri is terang then motor_horizontal is CCW	1	rule6
7 If kanan is terang and kiri is gelap then motor_horizontal is CW	1	rule7
8 If kanan is terang and kiri is normal then motor_horizontal is CW	1	rule8
9 If kanan is terang and kiri is terang then motor_horizontal is OFF	1	rule9
10 If atas is gelap and bawah is gelap then motor_vertikal is OFF	1	rule10
11 If atas is gelap and bawah is normal then motor_vertikal is CCW	1	rule11
12 If atas is gelap and bawah is terang then motor_vertikal is CCW	1	rule12
13 If atas is normal and bawah is gelap then motor_vertikal is CW	1	rule13
14 If atas is normal and bawah is normal then motor_vertikal is OFF	1	rule14
15 If atas is normal and bawah is terang then motor_vertikal is CCW	1	rule15
16 If atas is terang and bawah is gelap then motor_vertikal is CW	1	rule16
17 If atas is terang and bawah is normal then motor_vertikal is CW	1	rule17
18 If atas is terang and bawah is normal then motor_vertikal is OFF	1	rule18

Gambar 16. rules base sistem fuzzy

C. Rules inference pada sistem fuzzy

Adalah rules yang sudah terbuat yang berasal dari rule base, rules inference berfungsi untuk mengetahui output dan input rules mana yang bekerja sesuai dengan membership function yang dibuat.



Gambar 17. rules inference sistem fuzzy

D. Coding yang dimasukkan ke arduino ide

```

// Definisi konstanta
const int motorHorizontalPin = A0;
const int motorVerticalPin = A1;
const int sensorKananPin = A2;
const int sensorKiriPin = A3;
const int sensorAtasPin = A4;
const int sensorBawahPin = A5;

// Variabel global
int sensorKanan = 0;
int sensorKiri = 0;
int sensorAtas = 0;
int sensorBawah = 0;

// Fungsi
void setup() {
  pinMode(sensorKananPin, INPUT);
  pinMode(sensorKiriPin, INPUT);
  pinMode(sensorAtasPin, INPUT);
  pinMode(sensorBawahPin, INPUT);
  pinMode(motorHorizontalPin, OUTPUT);
  pinMode(motorVerticalPin, OUTPUT);
}

void loop() {
  sensorKanan = analogRead(sensorKananPin);
  sensorKiri = analogRead(sensorKiriPin);
  sensorAtas = analogRead(sensorAtasPin);
  sensorBawah = analogRead(sensorBawahPin);

  // Logika kontrol motor
  // ... (logika fuzzy inference) ...
}

```

Gambar 18. arduino ide

E. Hasil dari pengukuran dengan menggunakan tracker

Tabel 2. Data solar tracker

Pukul Wib	Sel surya dengan sistem Tracking		
	Tegangan (V)	Arus (A)	Daya (Watt)
09.00	18,2	3,56	64,792
09.20	19,02	3,79	72,0858
09.40	19,8	4,02	79,596
10.00	20,02	4,13	82,6826
10.20	19,8	4,02	79,596
10.40	20,02	4,13	82,6826
11.00	19,7	4,02	79,194
11.20	20,04	4,16	83,3664
11.40	19,9	3,98	79,202
12.00	20,1	4,25	85,425
12.20	20,08	4,2	84,336
12.40	20,03	4,06	81,3218
13.00	20,01	4,03	80,6403
13.20	19,8	3,89	77,022
13.40	19,6	3,76	73,696
14.00	18,6	3,4	63,24
14.20	18,08	3,17	57,3136
14.40	18,1	3,2	57,92
15.00	18,05	3,14	56,677
15.20	17,1	2,8	47,88
15.40	17,08	2,2	37,576
16.00	17,05	2,15	36,6575

"Data tabel berasal dari pengukuran yang dilakukan di kampus 2 ITN Malang"

Dari data tabel 2 dapat dilihat bahwa tegangan dan arus yang dihasilkan oleh panel surya dapat stabil tidak terlalu mengalami penurunan yang terlalu besar, hal ini karena penggunaan tracker yang berfungsi untuk mengarahkan panel surya agar selalu statis terhadap sinar matahari. Ada penurunan daya yang sangat jauh hal ini terjadi karena pengaruh penempatan panel surya yang terhalang gedung mulai jam 14.00 – 16.00 WIB.

F. Hasil data tanpa menggunakan tracker

Tabel 3. Data tanpa tracker

Pukul Wib	Sel surya tanpa sistem Tracking		
	Tegangan (V)	Arus (A)	Daya (Watt)
09.00	15,39	2,023	15,39
09.20	16,3	3	16,3
09.40	17,91	2,44	17,91

Tabel 3. Data tanpa tracker

10.00	17,76	2,64	17,76
10.20	17,82	2,8	17,82
10.40	17,87	2,94	17,87
11.00	17,76	2,84	17,76
11.20	17,72	2,75	17,72
11.40	17,8	2,8	17,8
12.00	18,4	3,6	18,4
12.20	18,34	3,59	18,34
12.40	18,1	3,55	18,1
13.00	16,78	0,64	16,78
13.20	15,51	0,84	15,51
13.40	15,49	0,8	15,49
14.00	14,4	0,6	14,4
14.20	14,4	0,76	14,4
14.40	14,2	0,8	14,2
15.00	13,95	0,5	13,95
15.20	13,6	0,67	13,6
15.40	13,58	0,5	13,58
16.00	12,95	0,2	12,95

*Data tabel berasal dari pengukuran yang dilakukan di kampus 2 ITN Malang**

Dapat dilihat dari data tabel 3 tegangan dan arus yang dihasilkan mengalami penurunan yang signifikan hal ini terjadi karena pengaruh cuaca seperti mendung yang dapat menghalangi resapan sinar matahari ke panel surya

Untuk data daya, di dapatkan dengan melakukan perkalian tegangan dan arus yang di hasilkan oleh panel surya.

$$P = V \times A$$

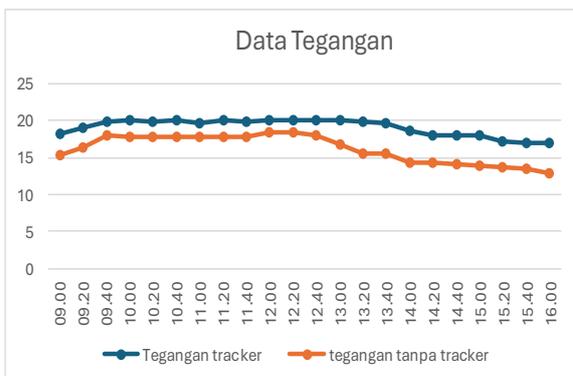
Keterangan:

P : Daya (wat)

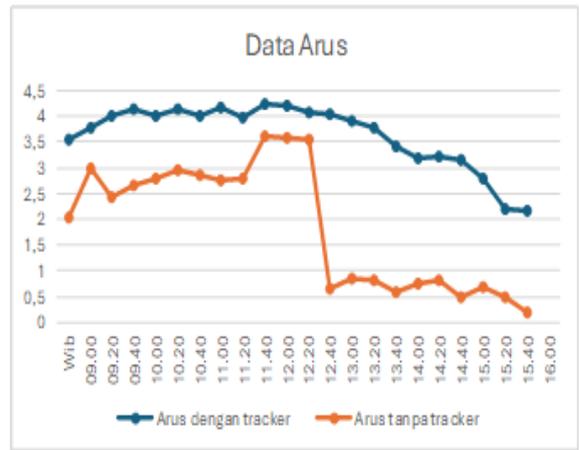
V : Tegangan (V)

A : Arus (A)

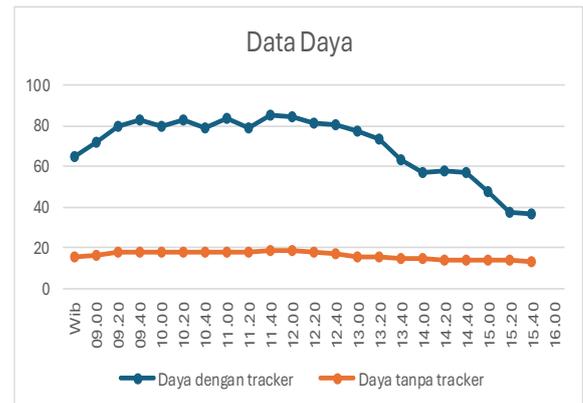
G. Gambar grafik perbandingan



Gambar 19. Grafik perbandingan tegangan



Gambar 20. Grafik perbandingan arus



Gambar 21. Grafik perbandingan Daya

Dapat dilihat dari data grafik yang telah didapatkan pada gambar 19, 20, 21 bahwa rata-rata tegangan yang dihasilkan oleh panel surya dengan sistem tracking sebesar 20 V dan rata-rata tegangan yang dihasilkan tanpa sistem tracking sebesar 17,5 v dengan rata-rata arus yang dihasilkan sebesar 15 watt dan dengan sistem tracking sebesar 75 watt

H. Hasil perolehan energi panel surya

Berdasarkan hasil pengambilan data yang telah didapatkan selama pengukuran panel surya, didapatkan energi dari panel surya yang telah terpasang sistem kendali menggunakan metode fuzzy type 1 dari perhitungan berikut ini :

$$E = V_{(total)} \times I_{total} \times t$$

$$E = 415,32 \times 77,64 \times 7 = 225.718,114 \text{ kWh}$$

Dari perolehan energi yang dihasilkan oleh panel surya yang terpasang sistem kendali menggunakan fuzzy type 1 dalam periode waktu pengambilan data selama 7 jam didapatkan hasil 225.718,114 kWh

Berdasarkan hasil pengambilan data yang telah didapatkan selama pengukuran panel surya, didapatkan energi dari panel surya tanpa

menggunakan sistem kendali dari perhitungan berikut ini :

$$E=V_{\text{(total)}} \times I_{\text{total}} \times t$$

$$E=373,85 \times 41,28 \times 7 = 108.027,696 \text{ kWh}$$

Dari perolehan energi yang dihasilkan oleh panel surya tanpa sistem kendali dalam periode waktu pengambilan data selama 7 jam didapatkan hasil 108.027,696 kWh

V. KESIMPULAN DAN SARAN

1. Sistem solar tracker pada panel surya digunakan untuk meningkatkan kestabilan output yang dihasilkan oleh panel surya 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 1 terbukti lebih stabil apabila dengan panel surya tanpa sistem tracking.
3. Sistem yang telah dirancang menggunakan fuzzy type 1 dapat menunjukkan respon yang sesuai dengan program dan algoritma yang telah di buat pada Matlab.

A. 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 diintegrasikan dengan sistem smart grid.
3. Pada sistem dapat menggunakan sistem Ai yang terbaru agar dapat melakukan penjejak matahari dengan lebih baik

VI. REFERENSI

- [1] B. Eko Nugroho, E. Eko Prasetyo, G. Marausna, and S. Tinggi Teknologi Kedirgantaraan Yogyakarta, "Rancang Bangun Dual Axis Sun Tracker Menggunakan Motor DC Power Window CSD60-B," 2022.
- [2] A. Mandala Putra, "JTEV (JURNAL TEKNIK ELEKTRO DAN VOKASIONAL) Sistem Kendali Solar Tracker Satu Sumbu berbasis Arduino dengan sensor LDR," *JURNAL TEKNIK ELEKTRO DAN VOKASIONAL*, vol. 6, 2020, [Online]. Available: <http://ejournal.unp.ac.id/index.php/jtev/index>
- [3] Khotama R, Santoso B. D, and Stefanie A, "Perancangan Sistem Optimasi Smart Solar Electrical pada Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) dengan Metode Tracking Dual Axis Technology," *Jurnal Ecotipe (Electronic, Control, Telecommunication, Information, and Power Engineering)*, vol. 7, no. 2, pp. 78–84, Oct. 2020, doi: 10.33019/jurnalecotipe.v7i2.1887.
- [4] Winarno I, Fitri Wulandari, Tuah H. Surabaya Jl Arif Rahman Hakim, and S. Jawa Timur, "SOLAR TRACKING SYSTEM SINGLE AXIS PADA SOLAR SEL UNTUK MENGOPTIMALKAN DAYA DENGAN METODE ADAPTIVE NEURO-FUZZY INFERENCE SYSTEM (ANFIS)," 2017.
- [5] Rizal Nurfajriansyah, "PERANCANGAN PORTABLE POWERBANK BERBASIS PANEL SURYA SEBAGAI MULTIPURPOSE RESERVE POWER GENERATION (MRPG)," 2018.
- [6] H. Zuddin and S. I. Haryudo, "Perancangan Dan Implementasi Sistem Instalasi Solar Tracking Dual Axis Untuk Optimasi Panel Surya," 2019.
- [7] R. Rizky *et al.*, "Penerapan Metode Fuzzy Sugeno Untuk pengukuran Keakuratan Jarak Pada Pintu Otomatis di CV Bejo Perkasa," *Jurnal Teknik Informatika Unika*, vol. 05, 2020.
- [8] J. Rezkyanzah, L. P. Purba, and C. A. Putra, "PERANCANGAN SOLAR TRACKER BERBASIS ARDUINO SEBAGAI PENUNJANG SISTEM KERJA SOLAR CELL DALAM PENYERAPAN ENERGI MATAHARI".
- [9] W. Febriani, G. W. Nurcahyo, and S. Sumijan, "Diagnosa Penyakit Rubella Menggunakan Metode Fuzzy Tsukamoto," *Jurnal Sistem Informasi dan Teknologi*, vol. 1, no. 3, pp. 12–17, Sep. 2019, doi: 10.35134/jsisfotek.v1i3.4.
- [10] Prasetyo R.A, Arnisa Stefanie, Wilma Nurrul Adzillah "Optimasi Daya Pada Panel Surya Dengan Solar Tracker System Dual Axis Menggunakan," *Vol. 7, No.2, April 2021*, vol. Vol. 7, pp. 1-8, 2011.
- [11] Jumaat Siti Amely, Adam Afiq Azlan Tan, Mohd Noor Abdullah, Nur Hanis Radzi, t, "Horizontal Single Axis Solar Tracker Using Arduino," *Vol. 12, No. 2, November 2018*, pp.489b~496, vol. Vol. 12, p. 489 – 496, 2018.
- [12] Sudibyo Pandu, Yanu Shalahuddin, Mochtar Yahya "PANEL PV BERPENJEJAK SINGLE AXIS MENGGUNAKAN KENDALI FUZZY LOGIC Vol. 1 / No. 1," *Jurnal Sistem Telekomunikasi Elektronika Sistem Kontrol Power Sistem & Komputer*, vol. Vol 1, pp. 1-12, 2021.

VII. BIODATA PENULIS



Hedi Bafadhal merupakan mahasiswa ITN Malang, kelahiran Blitar 22 September 2001, dan merupakan

lulusan MIN 11 Blitar, SMPN 2 Kademangan dan SMAN 1 Kademangan, dan hingga saat ini Hedi masih menjadi mahasiswa aktif ITN Malang, Email Hedi adalah heldiae123@gmail.com.