

Kendali Posisi Sudut Panel Surya Single Axis Berbasis Logika Fuzzy

1st Yazid Ammar

Fakultas Teknik Elektro
Universitas Telkom

Bandung, Indonesia

ammaryazid@telkomuniversity.ac.id

2nd Agung Surya Wibowo

Fakultas Teknik Elektro
Universitas Telkom

Bandung, Indonesia

agungsw@telkomuniversity.ac.id

3rd Wahmisari Priharti

Fakultas Teknik Elektro
Universitas Telkom

Bandung, Indonesia

wpriharti@telkomuniversity.ac.id

Abstrak — Pada zaman modern ini, kebutuhan energi listrik sangat banyak dibutuhkan. Panel surya dapat mengubah energi matahari menjadi energi listrik secara optimal ketika arah cahaya matahari tegak lurus dengan panel. Untuk menjaga agar panel surya selalu tegak lurus dengan arah cahaya matahari, maka dibuatlah sistem solar tracker.

Pada sistem solar tracker sudut arah datang cahaya matahari digunakan sebagai setpoint. Sistem akan menggerakkan panel surya menggunakan aktuator berupa motor DC. Namun, motor DC sebagai aktuator memiliki keterbatasan posisi sudut. Oleh karena itu, pada sistem ini aktuator diprogram menggunakan metode logika fuzzy. Logika fuzzy digunakan sebagai kendali posisi sudut. Maka, pada penelitian tugas akhir ini akan dirancang sistem kendali posisi sudut panel surya single axis berbasis logika fuzzy.

Dari hasil pengujian, perbandingan pembacaan sudut sensor MPU6050 dengan busur derajat memiliki tingkat akurasi pembacaan sudut sebesar 97,95%. Kendali logika fuzzy (Fuzzy Logic Controller) dapat mempercepat rise time, settling time, dan mengurangi error steady state dari respon sistem. Keluaran daya solar tracker single axis memiliki peningkatan daya 10,1% dari keluaran daya panel surya fixed system (pada sudut 0° terhadap bumi). Solar tracker single axis dapat menghasilkan keluaran daya yang lebih besar karena posisi panel selalu tegak lurus terhadap matahari

Kata kunci— Panel Surya, Solar Tracker, Fuzzy Logic Controller

I. PENDAHULUAN

Seiring dengan perkembangan zaman maka kebutuhan energi semakin meningkat, salah satunya di Indonesia. Indonesia merupakan negara berkembang dengan pemanfaatan EBT (Energi Baru dan Terbarukan) yang masih kurang, sebesar 9,15% dari potensi yang ada. Kondisi iklim tropis di Indonesia menyebabkan intensitas cahaya matahari yang berlimpah dan dapat dimanfaatkan untuk membangkitkan EBT jenis energi surya menjadi energi listrik. Indonesia memiliki intensitas radiasi cahaya matahari rata-rata sekitar 4,8 kWh/m²/hari [1].

Dalam pemanfaatan energi surya menjadi energi listrik komponen utama yang dibutuhkan adalah panel surya. Panel surya dapat memperoleh energi surya secara bebas, bersih, dan ekonomis serta dapat mengkonversi cahaya matahari menjadi energi listrik secara langsung. Namun, pemanfaatan

energi surya menjadi energi listrik menggunakan panel surya juga mempunyai permasalahan, antara lain perubahan cuaca yang menyebabkan intensitas cahaya matahari menjadi tidak menentu sehingga cahaya yang diserap panel surya tidak maksimal. Keterbatasan waktu matahari terbit hingga terbenam juga menjadi permasalahan dalam pemanfaatan energi surya menjadi energi listrik [2]. Panel surya dapat bekerja secara optimal ketika posisi cahaya matahari berada tepat tegak lurus terhadap panel. Untuk itu dibutuhkan sistem yang dapat menyesuaikan posisi cahaya matahari yaitu solar tracker. Berdasarkan latar belakang di atas, maka terdapat rumusan masalah sebagai berikut:

Bagaimana cara merancang solar tracker single axis menggunakan kendali posisi sudut berbasis logika fuzzy?

Bagaimana peningkatan keluaran daya panel surya dengan sistem solar tracker single axis dibandingkan dengan panel surya fixed system?

Adapun tujuan yang ingin dicapai dari tugas akhir ini adalah:

Merancang solar tracker single axis menggunakan kendali posisi sudut berbasis logika fuzzy.

Menilai persentase peningkatan keluaran daya panel surya dengan sistem solar tracker single axis dibandingkan dengan panel surya fixed system.

Untuk membatasi cakupan masalah pada tugas akhir ini, maka batasan-batasan masalah yang diberikan adalah sebagai berikut:

Sel surya bergerak pada satu sumbu kebebasan (single axis).

Batas gerak sudut zenit sel surya antara - 90° (timur) sampai dengan 90° (barat).

Waktu pengujian dilakukan dari pukul 09:00 WIB sampai pukul 15:00 WIB berlokasi di Kota Bandung.

Berikut merupakan metode penelitian yang dilakukan pada tugas akhir ini.

Studi Literatur Tahap studi literatur adalah tahap mencari referensi yang berkaitan dengan tugas akhir. Referensi yang dicari dapat berupa buku tugas akhir, jurnal, artikel, atau buku yang berkaitan dengan teori-teori yang diaplikasikan. Studi literatur juga dilakukan dengan cara konsultasi kepada dosen-dosen yang memiliki kemampuan yang berkaitan dengan tugas akhir.

Tinjauan Pustaka Dalam tahap ini referensi dan hasil konsultasi yang telah ditulis akan diulas kembali dan dikonsultasikan bersama dosen pembimbing.

Perancangan Sistem dan Alat Pada tahap ini penulis akan merancang sebuah sistem solar tracker berbasis logika fuzzy dengan setpoint posisi sudut sesuai perubahan posisi matahari yaitu 15° per jam.

Pengujian Alat Setelah semua rangkaian perancangan alat telah berhasil dilakukan dan sesuai dengan standard dan parameter yang diinginkan, selanjutnya penulis akan melakukan pengujian alat. Pengujian yang dilakukan adalah kalibrasi sensor dan uji keluaran daya panel surya.

Analisis Hasil yang didapat dari pengujian alat akan dianalisis apakah sudah sesuai dengan tujuan penelitian. Adapun, data-data yang diperoleh dalam pengujian akan dijadikan sebagai bahan evaluasi pada penelitian berikutnya.

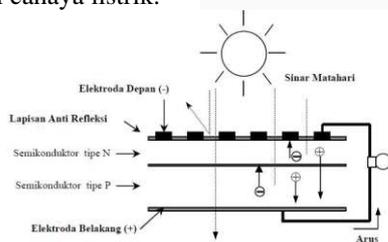
Penyusunan Buku Tahap ini merupakan tahap terakhir yang dilakukan. Tahap ini bisa disebut sebagai bentuk laporan terperinci dari hasil penelitian yang secara garis besar terdiri dari perancangan, pengujian dan analisis.

Penyusunan buku ini bertujuan agar pembaca dapat memperbaiki kekurangan dan melakukan pengembangan pada penelitian ini di kemudian hari.

II. KAJIAN TEORI

A. Panel Surya

Panel surya adalah alat yang berfungsi untuk mengubah energi dari cahaya matahari menjadi energi listrik dengan menggunakan efek *photovoltaic*. Panel surya terbentuk dari sel surya yang sering disebut dengan sel *photovoltaic* (PV) yang berarti cahaya listrik.



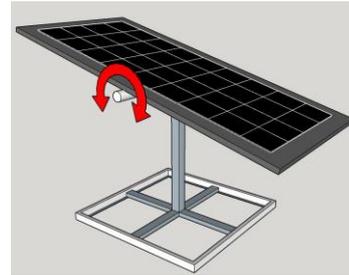
GAMBAR 1
Prinsip Kerja Sel Surya.

Pada Gambar 1 sel surya terbentuk dari bahan semikonduktor tipe N dan tipe P yang terbuat dari silikon tipis. Bahan semikonduktor tipe N mempunyai banyak elektron sehingga bermuatan negatif. Sedangkan bahan semikonduktor tipe P mempunyai *hole* berlebih sehingga bermuatan positif [4]. Kedua bahan semikonduktor ini membentuk sambungan p-n (*p-n junction*). Saat terkena cahaya matahari yang mengandung energi photon, elektron akan terbebas dari ikatan atomnya lalu bergerak pada sambungan p-n (*p-n junction*) sehingga menghasilkan arus listrik.

B. Solar Tracker

Solar tracker adalah sistem yang digunakan untuk menggerakkan sel surya dengan tujuan mengoptimalkan keluaran yang dihasilkan sel surya. Mekanisme dari sistem penggerak sel surya dengan cara menggerakkan posisi sel surya agar selalu tegak lurus dengan arah datang cahaya matahari. Pada sistem ini, sistem penggerak harus dapat

medeteksi jumlah cahaya matahari yang ada. Saat jumlah cahaya yang masuk menurun, maka secara otomatis sel surya akan bergerak sampai mendapatkan jumlah cahaya yang paling terang.



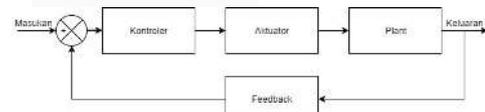
GAMBAR 2
Solar Tracker.

C. Sistem Kendali

Sistem kendali adalah proses pengendalian suatu besaran yang membutuhkan pengamatan kualitas (*process variable*) sehingga memenuhi kondisi tertentu (*setpoint*). *Process variable* yang mempengaruhi proses kendali adalah pengukuran, perbandingan, perhitungan, dan perbaikan. Sistem kendali terbagi menjadi dua jenis yaitu sistem kendali *lup terbuka* (*open loop*) dan *lup tertutup* (*close loop*).



GAMBAR 3
Blok Diagram *Open Loop*.



GAMBAR 3
Blok Diagram *Open Loop*.

Berikut keterangan dari blok diagram sistem kendali:

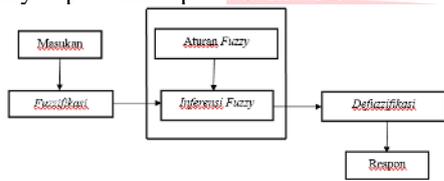
1. Masukan (*setpoint/ input*)
Nilai variabel yang diinginkan oleh pengguna sistem (*user*) sebagai acuan *output* dari sistem.
2. Keluaran (*output*)
Nilai keluaran dari sebuah variabel kendali yang direalisasikan terhadap *plant* yang dikendalikan.
3. Umpan Balik (*feedback*)
Blok yang terdapat di sistem kendali *lup tertutup* yang digunakan mengukur keluaran yang dikendalikan dan memberi informasi kepada pengendali kondisi.
4. Kontroler
Kontroler adalah suatu alat untuk mengukur atau mengendalikan harga dari variabel, kemudian dibandingkan atau dikoreksi dengan harga variabel yang diinginkan agar hasil perbandingan atau koreksi dari harga variabel yang diukur mendekati atau sama dengan variabel yang diinginkan.
5. *Plant*
Plant adalah objek fisik yang dikendalikan, berupa kumpulan dari beberapa bagian alat yang bekerja bersama pada suatu sistem kendali.

6. Aktuator

Bagian dari keluaran untuk mengubah energi sumber catuan menjadi energi kerja yang dimanfaatkan untuk mencapai tujuan dari sistem kendali.

D. Kendali Logika Fuzzy

Kendali logika fuzzy adalah suatu sistem kendali yang berbasis pada pengetahuan manusia. Masukan, keluaran, serta respon sistem pada kendali logika fuzzy diperoleh dari sistem pakar yang berdasar pada pengetahuan manusia [1]. Pada logika fuzzy pernyataan suatu kondisi yang samar dapat bernilai salah dan benar secara bersamaan akan diinterpretasikan bobot nilai salah dan benar nya sehingga menjadi sebuah pengertian yang logis. Blok diagram kendali logika fuzzy dapat dilihat pada Gambar 4.



GAMBAR 4
Blok Diagram Kendali Fuzzy

Berikut keterangan dari blok diagram kendali fuzzy:

1. Masukan (*setpoint/ input*)

Masukan pada logika fuzzy adalah nilai variabel yang diinginkan oleh pengguna sistem (*user*) berupa data *crisp* atau bilangan *real*.

2. Fuzzifikasi

Fuzzifikasi adalah proses mengubah masukan yang bersifat bukan fuzzy menjadi himpunan fuzzy. data *crisp* atau bilangan *real* dipetakan menjadi nilai dalam bahasa pembicaraan tertentu menjadi masukan fuzzy.

3. Rule Base

Rule base pada fuzzy adalah basis aturan berisi kumpulan pernyataan aturan 'jika- maka' atau 'if- then' yang digunakan untuk mengolah variabel masukan sehingga menghasilkan variabel keluaran dalam bentuk himpunan fuzzy.

4. Inference

Inferensi adalah proses transformasi dari suatu masukan menjadi suatu keluaran sinyal kendali dalam domain fuzzy menggunakan rule base.

5. Defuzzifikasi

Defuzzifikasi adalah proses mengubah keluaran sinyal kendali dalam domain fuzzy menjadi respon kendali bukan fuzzy. Metode defuzzifikasi yang banyak digunakan adalah metode mengambil nilai rata- rata domain yang memiliki nilai keanggotaan maksimum (*mean of maximum*), dan metode rata- rata terbobot (*weighted average*) atau biasa disebut dengan metode COA (*Center of Area*). data *crisp* atau bilangan *real*.

6. Respon (keluaran/output)

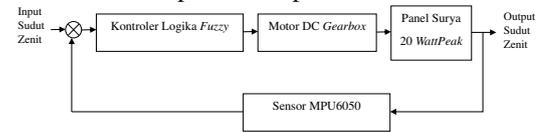
Respon merupakan keluaran dari proses keseluruhan kendali logika fuzzy berupa himpunan *crisp* yang akan mengendalikan aktuator pada sistem.

III. METODE

Berikut merupakan metode penelitian yang digunakan pada penelitian Tugas Akhir ini.

A. Desain Sistem

Desain sistem dapat dilihat pada Gambar 5 berikut ini.



GAMBAR 5
Diagram Blok Sistem

Gambar 5 menunjukkan diagram blok pada sistem solar tracker yang terdiri dari *input*, kontroler, aktuator, *plant*, *output*, dan *feedback*. *Input* sudut zenit diperoleh dari nilai yang dimasukan oleh pengguna (*user*) yaitu nilai *setpoint* berupa sudut dalam satuan derajat yang didapat dari perhitungan posisi matahari. Bumi memiliki banyak zona waktu, oleh karena itu untuk menghitung posisi matahari perlu dicari waktu matahari lokal (*Local Solar Time*) atau LST kemudian sudut zenit dapat dihitung berdasarkan persamaan- persamaan berikut.

$$\omega = (LST - 12) \times 15^\circ \quad (3.1)$$

$$LST = LT + \frac{TC}{60} \quad (3.2)$$

$$TC = 4(Longitude - LSTM) + EoT \quad (3.3)$$

Angka 4 menit berasal dari fakta bahwa bumi berputar 1° setiap 4 menit atau 15° per 1 jam.

$$LSTM = 15^\circ \times \Delta T_{GMT} \quad (3.4)$$

ΔT_{GMT} adalah selisih waktu lokal (LT) dengan waktu Greenwich (GMT) dalam satuan jam.

$$EoT = 9,87 \sin(2B) - 7,53 \cos(B) - 1,5 \sin(B) \quad (3.5)$$

$$B = \frac{360}{365} (d - 81) \quad (3.6)$$

Dengan d adalah jumlah hari sejak permulaan tahun. keterangan:

ω = sudut zenit (°).

LST = Local Solar Time.

LT = Local Time.

TC = Time Correction factor.

Longitude = garis bujur (°).

LSTM = Local Standard Time Meridian.

EoT = Equation of Time.

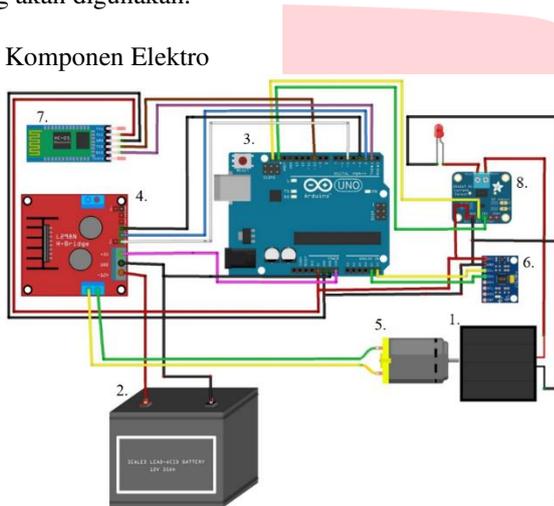
B = kemiringan sumbu bumi (°).

Pada bagian kontroler berfungsi untuk mengolah *error* hasil dari selisih nilai *setpoint* yang didapat dari persamaan (3.1) dengan nilai pembacaan sensor MPU6050 (*feedback*) dengan menggunakan metode kendali logika *fuzzy*. Pada bagian *plant* objek berupa panel surya 20 *WattPeak* posisi sudut zenit akan dikendalikan oleh kontroler melalui aktuator berupa motor DC *gearbox*. Jika *output* sistem berupa posisi sudut belum sesuai *setpoint* maka kontroler akan memperbaiki sistem secara berulang- ulang (*looping*) sampai nilai *setpoint* tercapai.

B. Desain Perangkat Keras

Desain perangkat keras diuraikan menjadi dua bagian yaitu komponen elektro dan perancangan komponen mekanik yang akan digunakan.

1. Komponen Elektro



GAMBAR 6 Hardware Wiring.

Pengkabelan perangkat keras (*hardware wiring*) pada Gambar 6 meliputi perancangan rangkaian sistem penggerak panel surya. Berikut penjelasannya.

- Panel surya berfungsi sebagai objek yang digerakan oleh aktuator untuk dirubah posisinya. Panel surya yang akan digunakan dalam tugas akhir ini adalah panel surya dengan daya 20 *WattPeak*.
- Baterai berfungsi sebagai sumber tenaga penggerak panel (bukan penyimpan energi panel) yang digunakan berjenis VRLA
- Arduino Uno berfungsi sebagai kontroler atau otak dari sistem.
- Driver motor* L298N berfungsi untuk mengatur arah pergerakan dari motor DC dan kecepatannya berupa nilai PWM.
- Motor DC RS 555 dengan *gearbox* metal sebagai aktuator ini berfungsi untuk menggerakkan sel surya sesuai arah yang telah ditentukan pada kontroler.
- Sensor yang dipakai adalah sensor MPU6050. Dalam sensor ini terdapat *accelerometer* dan *gyroscope* yang digunakan untuk mengukur kemiringan sudut.
- Modul *Bluetooth* HC05 untuk memonitor respon dan memberi *setpoint* pada sistem menggunakan komunikasi serial melalui *smartphone*.
- Sensor INA219 untuk mengukur arus, tegangan, dan daya yang dihasilkan panel surya.

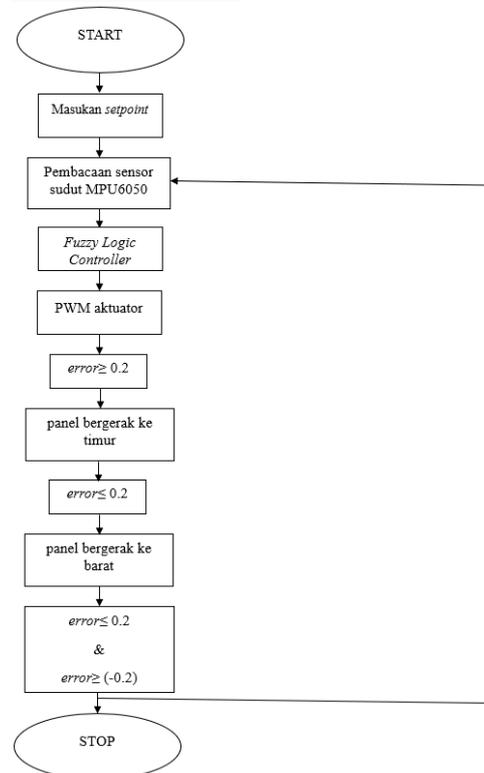
2. Komponen Mekanik



GAMBAR 7 Desain Mekanik Sistem.

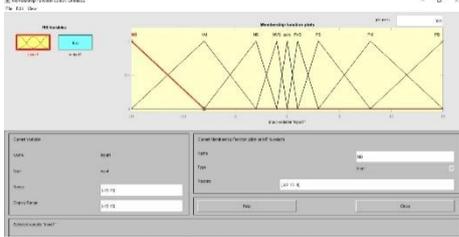
Gambar 7 menunjukkan desain mekanik pada *solar tracker single axis* yang terdiri dari bagian 1- 5. Pada bagian 1 terdapat panel surya 20 *WattPeak* dengan ukuran 49 × 35 × 2,5 cm dan berat 2,5 Kg yang ditempel menggunakan empat buah baut dan mur pada rangka penyangga yang bertumpu pada ujung *shaft* motor DC (bagian 5). Pada bagian bawah panel ditempelkan sensor MPU6050 sehingga posisi sudut panel terukur oleh sensor. Pada bagian 5 terdapat motor DC dengan *gearbox* yang bertumpu pada ujung tiang penyangga (bagian 2) menggunakan enam buah baut. Pada ujung *shaft* motor DC terdapat rangka penyangga panel yang akan dikendalikan posisi sudutnya dengan *shaft* motor DC sebagai sumbu putar *single axis*. Pada bagian 2 merupakan tiang penyangga mekanik berukuran 3 × 3 × 46 cm. Pada bagian 4 merupakan penyangga dasar dari keseluruhan mekanik sistem berukuran 50 × 50 × 1 cm yang sudah menyatu dengan tiang pada bagian 2 berbahan besi. Pada bagian 3 terdapat sebuah kotak yang berisi komponen elektro.

C. Desain Perangkat Lunak



GAMBAR 8 Flowchart Software Sistem.

Gambar 8 menunjukkan diagram alur perangkat lunak (*Flowchart Software Sistem solar tracker single axis*). Alur dimulai dari memberi masukan berupa nilai *setpoint* pada sudut zenit. Nilai *setpoint* akan dihitung selisihnya dengan nilai pembacaan sudut MPU6050 sehingga menghasilkan nilai *error*. Proses ini terjadi terus menerus (*looping*) untuk mengoreksi nilai *error*. Selanjutnya nilai *error* akan digunakan sebagai *input* pada *fuzzy logic controller*. Pada *fuzzy logic controller* nilai *error* akan melalui proses fuzzifikasi, inferensi menggunakan *rule base*, dan defuzzifikasi. Pada proses fuzzifikasi *input* nilai *error* akan dibuat fungsi keanggotaannya menggunakan 9 *membership function* jenis segitiga dan trapesium dengan metode penyelesaian Sugeno pada *range* sudut -15° sampai $+15^\circ$. Fungsi keanggotaan input dapat dilihat pada Gambar 9



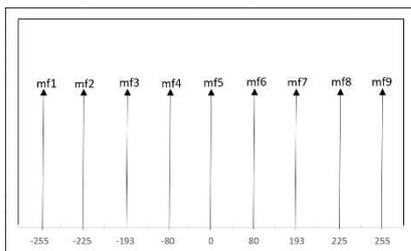
GAMBAR 9 Fungsi Keanggotaan *Input*.

Selanjutnya *input* fuzzifikasi akan melalui proses inferensi berdasarkan *rule base* yang menghubungkan *input* fuzzifikasi dengan *output* defuzzifikasi dengan *statement* kondisional “if” dan “then”. *Rule base* yang digunakan dapat dilihat pada tabel 3.1.

TABEL 3.1. *Rule Base*.

if input	then output
NB	mf1
NM	mf2
NS	mf3
NVS	mf4
zero	mf5
PVS	mf6
PS	mf7
PM	mf8
PB	mf9

Output defuzzifikasi yang digunakan pada *fuzzy logic controller* ini adalah nilai PWM pada -255 sampai 255 . Terdapat 9 variabel *output* yang sudah ditentukan untuk masing- masing *membership function* yang dapat dilihat pada Gambar III- 6.



GAMBAR 10. *Output* Defuzzifikasi.

Nilai PWM ditentukan dengan persamaan 3.7.

$$PWM = \frac{((NB \times mf1) + (NM \times mf2) + (NS \times mf3) + (NVS \times mf4) + (zero \times mf5) + (PVS \times mf6) + (PS \times mf7) + (PM \times mf8) + (PB \times mf9))}{(NB + NM + NS + NVS + zero + PVS + PS + PM + PB)} \quad (3.7)$$

keterangan:

- NB= (*Negative Big*).
- NM= (*Negative Medium*).
- NS= (*Negative Small*).
- NVS= (*Negative Very Small*).
- zero= 0.
- PB= (*Positive Big*).
- PM= (*Positive Medium*).
- PS= (*Positive Small*).
- PVS= (*Positive Very Small*).

9 *membership function* tersebut digunakan untuk menginterpretasikan bobot nilai *error*. Semakin besar nilai *error* maka *output* PWM akan semakin besar. Sebaliknya, semakin kecil nilai *error* maka *output* PWM akan semakin kecil. Jika nilai PWM negatif maka akan di *absolute* sehingga selalu bernilai positif. Nilai PWM yang dihasilkan akan memberi tegangan pada motor DC sehingga motor DC dapat bergerak. Motor DC akan menggerakkan panel ke arah sudut yang ditentukan *setpoint*, jika $error > 0,2$ maka panel akan bergerak sesuai arah jarum jam (timur), sedangkan jika $error < 0,2$ maka panel akan bergerak ke arah sebaliknya (barat).

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

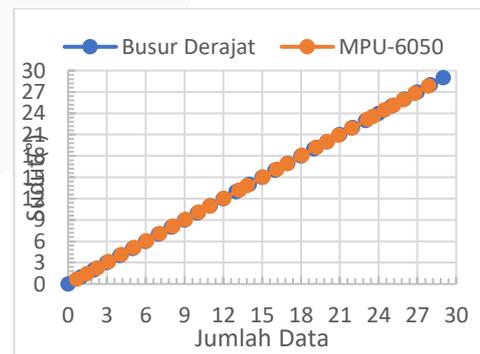
Pada bagian ini akan dipaparkan hasil dari pengujian yang telah dilakukan. Pengujian ini dibagi menjadi beberapa langkah, yaitu:

1. Pengujian Kalibrasi Sensor MPU6050.
2. Pengujian Kalibrasi Sensor INA219.
3. Pengujian *Driver Motor* L298N.
4. Pengujian *Solar Tracker Single Axis* berbasis *Fuzzy Logic Controller*.
5. Perbandingan Keluaran Panel Surya *Fixed System* dan *Solar Tracker Single Axis*.

Berikut hasil data dan analisis dari pengujian ini.

A. Pengujian Kalibrasi Sensor MPU6050

Pada pengujian ini pembacaan sudut sensor MPU6050 dibandingkan dengan busur digital.

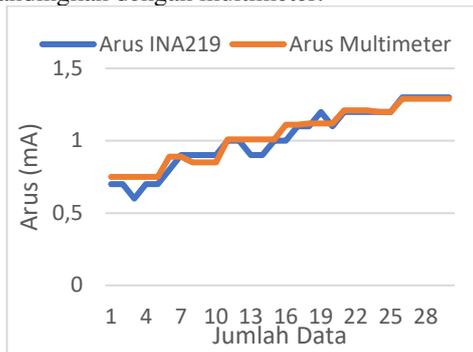


GAMBAR 11 Grafik Perbandingan Nilai MPU6050 dan Busur Digital.

Dari grafik tersebut dari 30 data didapat rata- rata nilai *error* sensor MPU6050 sebesar $0,296^\circ$, dengan tingkat akurasi 97,95%.

B. Pengujian Kalibrasi Sensor INA219

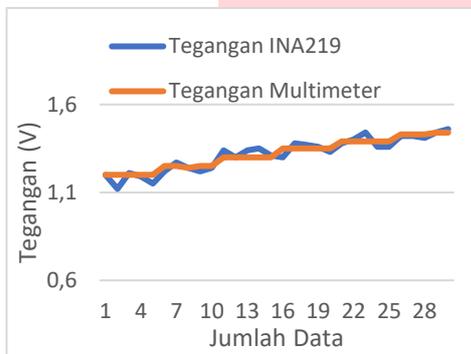
Pada pengujian ini pembacaan arus dan tegangan sensor INA219 dibandingkan dengan multimeter.



GAMBAR 12

Grafik Perbandingan Pengukuran Arus INA219 dan Multimeter.

Berdasarkan grafik tersebut dari 30 data didapat rata-rata nilai *error* sensor INA219 sebesar 0,039 A dengan tingkat akurasi 96,24%.



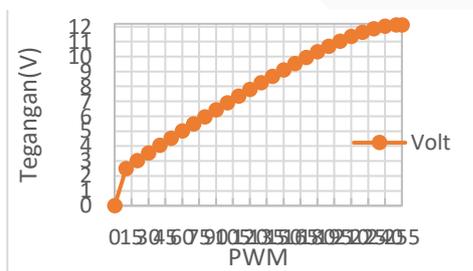
GAMBAR 13

Grafik Perbandingan Pengukuran Tegangan INA219 dan Multimeter.

Berdasarkan grafik tersebut dari 30 data didapat rata-rata nilai *error* sensor INA219 sebesar 0,023 V dengan tingkat akurasi 98,23%.

C. Pengujian Driver Motor L298N

Pengujian *driver motor* dilakukan untuk mengetahui besar keluaran tegangan dari *driver motor* pada nilai PWM tertentu.



GAMBAR 14

Grafik Keluaran Tegangan Driver Motor L298N terhadap Nilai PWM.

Berdasarkan grafik tersebut semakin besar nilai PWM maka semakin besar pula tegangan. Nilai PWM minimum agar motor DC *gearbox* dapat bergerak adalah 80- 255 PWM.

D. Pengujian Solar Tracker Single Axis berbasis Fuzzy Logic Controller

Pengujian dilakukan untuk mengetahui respon sistem. Sudut *output* panel akan dibandingkan dengan sudut *setpoint* sehingga dapat diketahui *rise time*, *settling time*, dan *error steady state* pada sistem.

Tabel 4.1. Respon Sistem.

<i>Setpoint</i> / Respon Sistem	-15°	0°	15°
<i>Rise time</i> (ms)	7,59	6,22	6,62
<i>Settling Time</i> (ms)	29,93	94,51	126,02
<i>Error Steady State</i> (°)	0,11°	0,07°	0,17°

Pengujian *fuzzy logic controller* pada sudut *setpoint* -15°, 0°, dan 15° dengan 9 *membership function* menghasilkan rata-rata respon *rise time* 6,81 ms; *settling time* 83,49 ms; dan *error steady state* 0,11°.

E. Perbandingan Keluaran Panel Surya Fixed System dan Solar Tracker Single Axis

Pengujian dilakukan untuk mengetahui peningkatan keluaran arus, tegangan, dan daya dari panel surya *single axis* dibandingkan dengan panel surya *fixed system*.

Tabel 4.2. Hasil Pengukuran Keluaran.

Tanggal	Sistem Panel	Arus (mA)	Tegangan (V)	Daya (mW)	Peningkatan Daya
29 November 2022	Panel Surya Fixed System	594,11	11,50	8291,28	8,4%
	Solar Tracker Single Axis	632,95	11,72	8988,27	
1 Desember 2022	Panel Surya Fixed System	610,03	11,92	8735,69	9,6%
	Solar Tracker Single Axis	643,54	12,44	9580,84	
2 Desember 2022	Panel Surya Fixed System	341,98	4,57	2799,19	12,32%
	Solar Tracker Single Axis	356,72	4,99	3144,26	
Rata-Rata Peningkatan Daya					10,1%

Tabel 4.2 menunjukkan hasil pengukuran keluaran panel surya pada tanggal 29 November, 1 Desember, dan 2 Desember 2022. Didapat rata-rata peningkatan keluaran daya panel surya *solar tracker single axis* sebesar 10,1%.

V. KESIMPULAN

Setelah membuat perancangan sistem, melakukan pengujian sistem, dan analisis dari sistem *solar tracker single axis* dengan *fuzzy logic controller*, maka dapat ditarik kesimpulan bahwa sistem ini dapat mencapai *setpoint* sudut posisi matahari yang ditentukan dan juga dapat meningkatkan keluaran daya panel surya.

REFERENSI

- [1] Nadia Fasa, "Perancangan Mobile Passive Two Axis Solar Tracker Pada Photovoltaic Menggunakan Kendali Logika Fuzzy PI", Available: <http://repository.its.ac.id/47084/>.
- [2] Aprillia, B. S., Zulfahmi, M. R., & Rizal, A. (2019). Investigasi Efek Partial Shading Terhadap Daya Keluaran Sel Surya. *Jurnal Elektro dan Mesin Terapan*, 5(2), 9-17.
- [3] Hilman, Catur, and Ali Musyafa. "Rancang Bangun Dual-Axis PV Solar Tracker System Menggunakan Interval Type-2 Fuzzy Logic Controller." *Seminar Nasional Pascasarjana XIV-ITS*, 2015.
- [4] Yuwono, Budi. "Optimalisasi Panel Sel Surya Dengan Menggunakan Sistem Pelacak Berbasis Mikrokontroler AT89C51". *Diss. Universitas Sebelas Maret*, 2005.
- [5] Pahlevi, Reza. "Pengujian Karakteristik Panel Surya Berdasarkan Intensitas Tenaga Surya. *Diss*". *Universitas Muhammadiyah Surakarta*, 2015.
- [6] Christiana H., Stuart B. "The Sun's Position". 11 Oktober 2015. <https://www.pveducation.org/pvcdrom/properties-of-sunlight/the-suns-position>.
- [7] Cekmas Cekdin. *Sistem Teknik Kendali*. Penerbit: Andi, 2015.
- [8] Larustan Christian Efendy Tumanggor, "Rapid Prototyping Sistem Kendali PI Anti Windup Menggunakan Simulator Hill". <https://openlibrary.telkomuniversity.ac.id/home/catalog/id/148651/slug/rapid-prototyping-pi-anti-windup-menggunakan-simulator-hill.html>.
- [9] Murti, Brojo Wisnu, Muhammad Zakiyullah Romdlony, and Bandiyah Sri Aprilia. 2021. "Sistem Kendali PI Anti-Windup pada Panel Surya Dual Axis". *Skripsi. Fakultas Teknik Elektro, Teknik Elektro, Universitas Telkom, Bandung*.
- [10] Sidik, Yogi Ghifari, Muhammad Zakiyullah Romdlony, and Bandiyah Sri Aprilia. 2020. "Sistem Kendali PID pada Panel Surya Dual Axis". *Skripsi. Fakultas Teknik Elektro, Teknik Elektro, Universitas Telkom, Bandung*.