



TUGAS AKHIR - TF 181801

ANALISA PERFORMANSI *DUAL AXIS SOLAR TRACKER* BERBASIS *FUZZY PID CONTROLLER* PADA LAMPU PENERANGAN JALAN

WAHYU ZULFIKAR PUTRA
NRP.0231154000011

Dosen Pembimbing
Dr. Imam Abadi S.T, M.T

DEPARTEMEN TEKNIK FISIKA
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2019

Halaman ini sengaja dikosongkan



FINAL PROJECT - TF181801

**PERFORMANCE ANALYSIS OF DUAL AXIS
SOLAR TRACKER BASED ON FUZZY PID
CONTROLLER IN STREET LIGHT**

WAHYU ZULFIKAR PUTRA
NRP.0231154000011

Supervisors
Dr. Imam Abadi S.T, M.T

*DEPARTMENT OF ENGINEERING PHYSICS
Faculty of Industrial Technology
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2019*

Halaman ini sengaja dikosongkan

PERNYATAAN BEBAS PLAGIARISME

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Wahyu Zulfikar Putra

NRP : 0231154000011

Departemen : Teknik Fisika FTI-ITS

dengan ini menyatakan bahwa tugas akhir saya yang berjudul “ANALISA PERFORMANSI *DUAL AXIS SOLAR TRACKER* BERBASIS *FUZZY PID CONTROLLER* PADA LAMPU PENERANGAN JALAN” adalah bebas plagiarisme. Apabila pernyataan ini terbukti tidak benar, maka saya bersedia menerima sanksi sesuai ketentuan yang berlaku.

Demikian surat pernyataan ini saya buat dengan sebenar-benarnya.

Surabaya, 20 Juli 2019



Wahyu Zulfikar Putra

Wahyu Zulfikar Putra

Halaman ini sengaja dikosongkan

**LEMBAR PENGESAHAN
TUGAS AKHIR**

**ANALISA PERFORMANSI *DUAL AXIS SOLAR TRACKER*
BERBASIS *FUZZY PID CONTROLLER* PADA LAMPU
PENERANGAN JALAN**

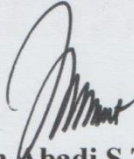
Oleh:

Wahyu Zulfikar Putra
NRP : 0231154000011

Surabaya,

Mengetahui / Menyetujui

Pembimbing



Dr. Imam Abadi S.T, M.T
NIP. 19761006 199903 1 002

Ketua Departemen Teknik Fisika



Agus Muhamad Hatta, ST, MSi, Ph.D
NIP. 19780902200312 1 002

Halaman ini sengaja dikosongkan

LEMBAR PENGESAHAN

ANALISA PERFORMANSI *DUAL AXIS SOLAR TRACKER* BERBASIS *FUZZY PID CONTROLLER* PADA LAMPU PENERANGAN JALAN




TUGAS AKHIR

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
pada
Program Studi S-1 Departemen Teknik Fisika
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :

Wahyu Zulfikar Putra
NRP. 0231154000011

Disetujui oleh Tim Penguji Tugas Akhir :

1. Dr. Imam Abadi S.T, M.T .....(Pembimbing 1)
2. Dr. Ir. Ali Musyafa', M.Sc .....(Ketua Tim Penguji)
3. Dr. Ir. Ronny Dwi Noriyati, M.Kes .....(Penguji 1)

SURABAYA
Juli, 2019

Halaman ini sengaja dikosongkan

ANALISA PERFORMANSI *DUAL AXIS SOLAR TRACKER* BERBASIS *FUZZY PID CONTROLLER* PADA LAMPU PENERANGAN JALAN

Nama Mahasiswa : Wahyu Zulfikar Putra
NRP : 0231154000011
Program Studi : S1 Teknik Fisika
Dosen Pembimbing : Dr. Imam Abadi S.T, M.T

Abstrak

Untuk memaksimalkan performansi dari panel surya salah satunya adalah dengan metode sistem penjejak matahari atau biasa disebut dengan *solar tracker*. *Solar tracker* merupakan sebuah piranti elektronik yang terdiri dari beberapa elemen elektrik dan mekanik, yang berfungsi untuk mengontrol panel surya agar selalu mengikuti posisi matahari dengan sudut tegak lurus agar energi yang dihasilkan oleh panel surya dapat maksimal. Salah satu aplikasinya yaitu digunakan untuk sumber energi lampu pada penerangan jalan umum. Namun pada umumnya masih menggunakan penerangan jalan umum konvensional. Oleh karena itu pada penelitian tugas akhir ini membahas mengenai analisa performansi *dual axis solar tracker* berbasis *fuzzy PID controller* pada lampu penerangan jalan. Pada penelitian sistem *dual axis solar tracker* ini kontrol logika fuzzy menggunakan 5 *membership function*. Indeks performansi respon sistem dengan kontrol fuzzy dan fuzzy PID memiliki perbedaan nilai. Pada kontrol fuzzy nilai *rise time* dan *settling time* sebesar 9,8 s dan 11,2 s untuk sudut *pitch* dan 4,6 s dan 5,4 s untuk sudut *yaw*. Sedangkan pada kontrol fuzzy PID nilai *rise time* dan *settling time* sebesar 8,2 s dan 9,6 s untuk sudut *pitch* dan 3,6 s dan 4,8 s untuk sudut *yaw*. Dan PV *tracker* mengalami peningkatan performansi sebesar 48,3 % lebih besar dibandingkan dengan *fixed panel*.

Kata kunci : *Photovoltaic, Solar Tracker, Fuzzy Logic Controller, Fuzzy PID Controller.*

Halaman ini sengaja dikosongkan

**PERFORMANCE ANALYSIS OF DUAL AXIS SOLAR
TRACKER BASED ON FUZZY PID CONTROLLER IN
STREET LIGHT**

Name : Wahyu Zulfikar Putra
NRP : 0231154000011
Study Program : S1 Teknik Fisika
Supervisor : Dr. Imam Abadi S.T, M.T

Abstract

To maximize the performance of solar panels, one of them is the method of solar tracking system or commonly called a solar tracker. Solar tracker is an electronic device consisting of several electrical and mechanical elements, which serves to regulate solar panels so that they can always take the position of the sun with a perpendicular angle or the energy produced by solar panels can be maximized. One application that is used for lighting energy sources in public street lighting. But generally still use conventional public street lighting. Therefore, this final project discusses the performance research of dual axis solar tracker based on fuzzy PID controller in street lighting. In this research the dual axis solar tracker system uses fuzzy logic using 5 membership functions. The system response performance index with fuzzy and fuzzy PID controls has different values. In fuzzy control the value of increase in time and settling time is 9.8 s and 11.2 s for pitch angle and 4.6 s and 5.4 s for yaw angles. While in fuzzy PID control the value increases time and settling time is 8,2s and 9.6s for pitch angles and 3.6 s and 4.8 s for yaw angles. And PV trackers increase performance by 48.3% greater than the fixed panel.

**Keywords : Photovoltaic, Solar Tracker, Fuzzy Logic
Controller, Fuzzy PID Controller.**

Halaman ini sengaja dikosongkan

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kepada Allah S.W.T, karena rahmat dan karunia-Nya sehingga penulis diberikan kesehatan, kemudahan, dan kelancaran dalam menyusun laporan tugas akhir ini. Tidak lupa juga penulis menyampaikan ucapan terima kasih kepada keluarga dan para sahabat. Oleh karena dukungan mereka, penulis mampu menyusun laporan tugas akhir ini. Tugas akhir ini merupakan salah satu persyaratan akademik yang harus dipenuhi dalam Program Studi S-1 Teknik Fisika FTI-ITS. Penulis menyampaikan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Bapak Agus Muhamad Hatta, ST, MSi, Ph.D. selaku ketua departemen Teknik Fisika ITS.
2. Bapak Dr. Imam Abadi, S.T , M.T selaku dosen pembimbing tugas akhir ini yang selalu sabar memberikan semangat dan masukan-masukan kepada penulis sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir.
3. Bapak Dr. Ir. Ali Musyafa', M.Sc dan Ibu Dr. Ir. Ronny Dwi Noriyati, M.Kes selaku dosen penguji tugas akhir, yang telah memberikan masukan kepada penulis sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir.
4. Segenap Bapak/Ibu dosen pengajar di Departemen Teknik Fisika - ITS.
5. Segenap keluarga terutama kedua orang tua penulis yang telah memberikan dukungan penuh dalam penyelesaian tugas akhir ini.
6. Teman - teman angkatan 2015 dan warga Teknik Fisika - ITS, yang senantiasa memberikan motivasi dan perhatian.
7. Teman-teman asisten Laboratorium Pengukuran Fisis - Teknik Fisika yang senantiasa memberikan motivasi, perhatian dan dukungan penuh.

Penulis menyadari bahwa mungkin masih ada kekurangan dalam laporan ini, sehingga kritik dan saran penulis terima. Semoga laporan ini dapat berguna dan bermanfaat bagi penulis dan pihak yang membacanya.

Surabaya, 2019

Halaman ini sengaja dikosongkan

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
PERNYATAAN BEBAS PLAGIARISME	v
LEMBAR PENGESAHAN TUGAS AKHIR	vii
LEMBAR PENGESAHAN	ix
ABSTRAK	xi
ABSTRACT	xiii
KATA PENGANTAR	xv
DAFTAR ISI	xvii
DAFTAR GAMBAR	xix
DAFTAR TABEL	xxi
DAFTAR NOTASI	xxiii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Permasalahan	3
1.3 Batasan Masalah	3
1.4 Tujuan Tugas Akhir	3
1.5 Sistematika Laporan	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Panel Surya (PV)	5
2.2 Solar Tracker	6
2.3 Light Dependent Resistor (LDR)	7
2.4 Logika <i>Fuzzy</i>	8
2.5 Baterai	12
2.6 Inverter	14
2.7 Lampu Penerangan Jalan	15
2.8 Kontrol Proportional-Integral-Derivatif	17
2.8.1. Pengontrol Proportional	17
2.8.2. Pengontrol Integral	19
2.8.3. Pengontrol Derivatif	21
BAB III METODOLOGI	25
3.1 Studi Literatur	27
3.2 Pengambilan Data Sekunder	27
3.2.1. Spesifikasi PV	27
3.2.2. Aktuator (Motor DC)	28

3.2.3. Sensor (Sensor LDR, Tegangan, dan Arus).....	29
3.2.4. Kontroler (Arduino Mega 2560).....	29
3.3 Perancangan Prototype / Hardware Solar Tracker.....	30
3.4 Pengujian Komponen	35
3.5 Perancangan Fuzzy PID Active Solar Tracker pada Lampu Penerangan Jalan	35
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....	41
4.1 Hasil Pengujian Sensor LDR	41
4.2 Hasil Uji Sensor Arus ACS712	42
4.3 Hasil Uji Sensor Tegangan	44
4.4 Hasil Uji Karakteristik PV	47
4.5 Hasil Pengujian Fuzzy PID Active Dual Axis Solar Tracker 48	
4.6 Uji Set Point Kontrol Fuzzy dan Fuzzy PID	51
4.7 Estimasi State Of Charge (SOC) Dual Axis Solar Tracker ...	54
4.8 Estimasi State Of Charge (SOC) Fixed Panel	57
4.9 Waktu Discharge Baterai Dengan Penggunaan Beban Lampu LED 50 Watt.....	60
BAB V PENUTUP	63
5.1 Kesimpulan.....	63
5.2 Saran	63
DAFTAR PUSTAKA.....	65
LAMPIRAN	69
A. Lampiran Data Sensor Arus ACS712	69
B. Lampiran Data Sensor Tegangan.....	71
C. Lampiran Data Sensor LDR	73
D. Lampiran Data Karakteristik Performansi Photovoltaic	74
E. Lampiran Data Uji Performansi Photovoltaic Tracker	75
F. Source Code Program Arduino	76

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Prinsip Kerja Sel Surya.....	6
Gambar 2. 2 Dual axis solar tracker	6
Gambar 2. 3 Konstruksi LDR.....	7
Gambar 2. 4 Grafik Input Output LDR	8
Gambar 2. 5 Sistematika fuzzy logic controller	9
Gambar 2. 6 Fungsi Keanggotaan Segitiga	10
Gambar 2. 7 Fungsi Keanggotaan Trapesium	11
Gambar 2. 8 Fungsi Keanggotaan Gaussian.....	12
Gambar 2. 9 Fungsi Keanggotaan Generalized bell	12
Gambar 2. 10 Gambar Konstruksi baterai	13
Gambar 2. 11 Gambar Prinsip kerja inverter.....	15
Gambar 2. 12 Lampu merkuri	16
Gambar 2. 13 Gambar Lampu Fluorescent	16
Gambar 2. 14 Lampu LED	17
Gambar 2. 15 Diagram blok kontroler proporsional	18
Gambar 2. 16 Proportional band dari pengontrol proporsional tergantung pada penguatan	18
Gambar 2. 17 Kurva sinyal kesalahan $e(t)$ terhadap t pada pembangkit kesalahan nol	20
Gambar 2. 18 Blok diagram hubungan antara besaran kesalahan dengan pengontrol integral.....	20
Gambar 2. 19 Hubungan antara sinyal input dengan sinyal output pengontrol Derivative.....	21
Gambar 2. 20 Kurva waktu hubungan input-output pengontrol Derivative	22
Gambar 2. 21 Diagram blok Fuzzy PID controller.....	23
Gambar 3. 1 Diagram alir tahapan penelitian.....	26
Gambar 3. 2 Diagram Blok <i>Solar Tracker</i>	30
Gambar 3. 3 Desain prototype solar tracker	31
Gambar 3. 4 Realisasi subsistem mekanik solar tracker.....	32
Gambar 3. 5 Realisasi subsistem elektrik solar tracker	33
Gambar 3. 6 Pemasangan sensor LDR	33
Gambar 3. 7 Pemasangan motor untuk sudut pitch	34
Gambar 3. 8 Pemasangan motor untuk sudut yaw	34
Gambar 3. 9 Fungsi keanggotaan fuzzy input error	36

Gambar 3. 10 Fungsi keanggotaan fuzzy input deltaerror.....	36
Gambar 3. 11 Defuzzifikasi nilai K_p	37
Gambar 3. 12 Defuzzifikasi nilai K_i	37
Gambar 3. 13 Defuzzifikasi nilai K_d	38
Gambar 3. 14 Inisialisasi port motor driver L298N	38
Gambar 3. 15 Inisialisasi port sensor LDR.....	39
Gambar 3. 16 Inisialisasi fuzzy inference system (FIS).....	39
Gambar 3. 17 Inisialisasi variabel input output FIS	39
Gambar 3. 18 Prototype active solar tracker	40
Gambar 4. 1 Pengujian sensor LDR	41
Gambar 4. 2 Pembacaan naik dan turun pengujian sensor arus...	43
Gambar 4. 3 Linearitas Pengujian Sensor Arus.....	44
Gambar 4. 4 Pembacaan naik dan turun pengujian sensor tegangan	45
Gambar 4. 5 Linearitas Pengujian Sensor Tegangan.....	46
Gambar 4. 6 Grafik Perbandingan output tegangan PV	49
Gambar 4. 7 Grafik perbandingan output arus PV	49
Gambar 4. 8 Grafik perbandingan output daya PV	50
Gambar 4. 9 Respon uji setpoint sudut pitch kontrol Fuzzy PID	51
Gambar 4. 10 Respon uji setpoint sudut pitch kontrol Fuzzy.....	52
Gambar 4. 11 Respon uji setpoint sudut yaw kontrol Fuzzy PID	53
Gambar 4. 12 Respon uji setpoint sudut yaw kontrol Fuzzy PID	53
Gambar 4. 13 SOC tracker percobaan 1	55
Gambar 4. 14 SOC tracker percobaan 2	55
Gambar 4. 15 SOC tracker percobaan 3	56
Gambar 4. 16 SOC tracker rata – rata	56
Gambar 4. 17 SOC fixed percobaan 1	58
Gambar 4. 18 SOC fixed percobaan 2	58
Gambar 4. 19 SOC fixed percobaan 3	59
Gambar 4. 20 SOC fixed rata – rata	59
Gambar 4. 21 Pengujian lampu jalan 50 watt.....	61

DAFTAR TABEL

Tabel 3. 1 Spesifikasi Panel PV.....	27
Tabel 3. 1 Spesifikasi Panel PV (lanjutan)	28
Tabel 3. 2 Spesifikasi motor DC	28
Tabel 3. 3 Spesifikasi driver motor DC.....	28
Tabel 3. 4 Spesifikasi sensor LDR, Arus, dan Tegangan	29
Tabel 3. 5 Spesifikasi Arduino Mega 2560	29
Tabel 3. 5 Spesifikasi Arduino Mega 2560 (lanjutan).....	30
Tabel 3. 6 Tabel nilai input sistem	35
Tabel 3. 7 Rule Base.....	38
Tabel 4. 1 Data hasil uji karakteristik photovoltaic	47
Tabel 4. 2 Indeks performansi uji setpoint	54

Halaman ini sengaja dikosongkan

DAFTAR NOTASI

K_p	: konstanta Proportional
K_i	: konstanta Integral
K_d	: konstanta Derivatif
K_0	: nilai batas asal
V	: tegangan
I	: arus
R	: resistansi
P	: daya
W	: energi
η	: efisiensi
E	: irradiansi
A	: luas permukaan

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Negara Indonesia merupakan negara dengan konsumsi energi terbesar di kawasan Asia Tenggara dan urutan kelima di kawasan Asia Pasifik dalam konsumsi energi primer, setelah negara China, India, Jepang dan Korea Selatan. Pertumbuhan PDB yang tinggi, mencapai rata-rata 6,04% per tahun selama periode 2017-2050, diperkirakan akan semakin mendorong peningkatan kebutuhan energi Indonesia di masa depan. Berdasarkan Peraturan Pemerintah No. 79 Tahun 2014 tentang Kebijakan Energi Nasional, bahwa penggunaan Energi Baru dan Terbarukan (EBT) akan menjadi prioritas, sementara energi berbasis fosil seperti solar dan batubara akan diminimalkan penggunaannya. Seperti halnya juga yang telah dijelaskan dalam Rencana Umum Tenaga Listrik (RUPTL) 2018-2027, bahwa kontribusi EBT dalam bauran energi pembangkitan tenaga listrik ditargetkan mencapai 23% pada tahun 2025 di Indonesia. (BPPT, 2018)

Terletak di kawasan khatulistiwa, membuat potensi energi surya di Indonesia sangatlah besar. Indonesia memiliki sekitar 4,8 kWh/m² atau setara dengan 112.000 GWp energi surya. Hal ini sebenarnya salah satu alasan mengapa sangat memungkinkan untuk diterapkan Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) di Indonesia ini. PLTS sendiri merupakan sebuah pembangkit yang mampu mengkonversi energi matahari menjadi energi listrik. Salah satu perangkat / alat yang biasa digunakan adalah *photovoltaic*. Namun sayangnya energi surya ini belum dimanfaatkan secara optimal karena dirasa *photovoltaic* memiliki efisiensi yang cukup kecil yaitu sekitar 14%-20% saja. (Hasan,2012)

Photovoltaic akan mengkonversikan energi matahari menjadi energi listrik dengan menyerap intensitas cahaya matahari. Namun intensitas cahaya matahari yang diserap akan selalu berubah dalam satu hari, jadi intensitas cahaya matahari yang di serap antara waktu pagi, siang, dan sore tidaklah sama. Hal ini

menyebabkan output daya dari *photovoltaic* menjadi tidak stabil. Namun sudah ada perangkat yang dapat mengatasi hal tersebut dinamakan *solar charge controller*.

Penelitian ini merujuk pada beberapa penelitian sebelumnya yang telah dilakukan, salah satunya dengan judul “*Design and implementation of active two axis solar tracking system using particle swarm optimization based fuzzy logic controller*” yang telah dilakukan pada tahun 2015. Pada penelitian tersebut menggunakan kontrol fuzzy-pso untuk meningkatkan efisiensi dari *solar tracker*. Kontrol fuzzy yang digunakan terdapat 5 *membership function* (Abadi et al., 2015).

Pada penelitian sebelumnya juga telah dilakukan implementasi kontrol Fuzzy-PI pada sistem *active dual axis solar tracker*. Hasil dari penelitian tersebut didapatkan peningkatan performansi antara *photovoltaic mode fixed based* dan *photovoltaic mode tracker* dengan kontrol Fuzzy-PI. Implementasi kontrol Fuzzy-PI pada sistem pada sudut *yaw* menghasilkan indeks performansi *rise time* sebesar 5,612 s, *delay time* sebesar 2,806 s, *peak time* sebesar 6,33 s, *settling time* sebesar 10,2 s, *maximum overshoot* sebesar 0,045 % dan *error steady state* sebesar 0,4. Untuk sudut *pitch* menghasilkan indeks performansi *rise time* sebesar 2,66 s, *delay time* sebesar 1,33 s, *peak time* sebesar 3 s, *settling time* sebesar 5,25 s, *maximum overshoot* sebesar 0,25 % dan *error steady state* sebesar 0,28. Dan hasilnya mengalami peningkatan efisiensi sebesar 27,18 % (Faishal et al., 2018).

Namun pada beberapa penelitian sebelumnya energi yang telah tersimpan di dalam baterai belum digunakan pada beban. Energi listrik yang tersimpan di dalam baterai dapat digunakan untuk berbagai macam penggunaan. Salah satu aplikasinya yaitu digunakan untuk sumber energi lampu pada penerangan jalan umum. Namun pada umumnya masih menggunakan penerangan jalan umum konvensional. Oleh karena itu pada penelitian tugas akhir ini membahas mengenai performansi *dual axis solar tracker* berbasis *fuzzy PID controller* sebagai sumber energi listrik pada lampu penerangan jalan.

1.2 Permasalahan

Berdasarkan latar belakang tersebut maka rumusan masalah yang dapat diangkat dalam pengerjaan tugas akhir ini, yaitu:

- a. Bagaimana menentukan parameter perancangan *dual axis solar tracker* ?
- b. Bagaimana menentukan parameter kontrol *Fuzzy PID* ?
- c. Bagaimana tingkat performansi pada sistem *dual axis solar tracker* berbasis *Fuzzy PID controller* pada lampu penerangan jalan ?

1.3 Batasan Masalah

Adapun batasan masalah yang digunakan dalam pengerjaan tugas akhir ini adalah sebagai berikut, yaitu:

- a. Menggunakan *active dual axis solar tracker*.
- b. Spesifikasi PV yang digunakan 100 WP.
- c. Metode Fuzzy yang digunakan adalah Metode Sugeno.
- d. Metode kontrol yang digunakan adalah *Fuzzy PID Controller*.
- e. Variabel yang dikendalikan adalah sudut *pitch* dan sudut *yaw*.
- f. Perancangan *hardware* (subsistem mekanik) menggunakan *Software SketchUp*.
- g. Sensor yang digunakan adalah LDR, 2 LDR untuk sudut *pitch* dan 2 LDR untuk sudut *yaw*.
- h. Aktuator yang digunakan adalah motor DC 12V.
- i. Lokasi pengujian dilakukan di Teknik Fisika ITS.
- j. Baterai yang digunakan adalah Merk SMT dengan kapasitas 40 Ah.
- k. Digunakan inverter 150 Watt.

1.4 Tujuan Tugas Akhir

Berdasarkan permasalahan tersebut adapun tujuan yang ingin dicapai dalam pengerjaan tugas akhir ini adalah sebagai berikut.

- a. Mampu menentukan parameter perancangan *dual axis solar tracker*.
- b. Mampu menentukan parameter kontrol *Fuzzy PID*.

- c. Mengetahui tingkat performansi pada sistem *dual axis solar tracker* berbasis *Fuzzy PID controller* pada lampu penerangan jalan.

1.5 Sistematika Laporan

Sistematika penulisan laporan tugas akhir adalah sebagai berikut :

1. **BAB I PENDAHULUAN**
Pada bab I ini terdiri dari latar belakang, rumusan masalah, tujuan, batasan masalah dan sistematika laporan.
2. **BAB II TINJAUAN PUSTAKA**
Pada bab II ini dibahas mengenai teori-teori yang berkaitan dengan penelitian yang akan dilakukan.
3. **BAB III METODOLOGI**
Pada bab III ini berisi mengenai rancangan dari penelitian yang dilakukan, metode dan langkah-langkah dalam penelitian.
4. **BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN**
Pada bab IV ini berisi tentang analisa hasil perancangan sistem *active dual axis solar tracker* menggunakan *fuzzy pid controller*.
5. **BAB V KESIMPULAN DAN SARAN**
Pada bab V ini diberikan kesimpulan dari penelitian tugas akhir yang telah dilakukan berdasarkan hasil yang diperoleh, serta diberikan saran sebagai penunjang maupun pengembangan tugas akhir selanjutnya.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

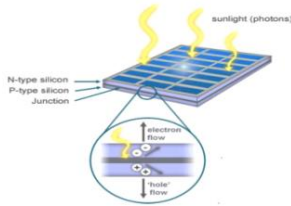
Untuk menunjang pengerjaan penelitian tugas akhir ini maka diperlukan beberapa tinjauan pustaka yang dapat digunakan. Beberapa teori yang diperlukan dalam pengerjaan penelitian tugas akhir ini antara lain seperti panel surya, *solar tracker*, *Light Dependent Resistor* (LDR), baterai, inverter, lampu, logika fuzzy, *PID controller* dan juga *fuzzy PID controller*. Beberapa teori tersebut yang nantinya digunakan pedoman dan bantuan dalam pengerjaan penelitian tugas akhir ini.

2.1 Panel Surya (PV)

Panel surya atau biasa dikenal dengan sebutan *photovoltaic* adalah sebuah modul yang terdiri dari beberapa susunan sel surya. Sel surya merupakan alat yang digunakan mengubah energi cahaya menjadi listrik. Sel surya merupakan sebuah hamparan semi konduktor yang dapat menyerap foton dari sinar matahari dan mengubahnya menjadi listrik. Gambar 2.1 menunjukkan proses penyerapan cahaya matahari oleh sel surya. Sel surya terdiri dari dua sambungan antara dua lapisan yang terbuat dari bahan semikonduktor yaitu semikonduktor positif “P” dan semikonduktor jenis negatif “N”. Foton mengenai permukaan sel surya kemudian sinar matahari akan dipantulkan dan dilewatkan dimana elektron dibebaskan dari ikatannya oleh foton dengan tingkatan energi tertentu. Pergerakan elektron tersebut menghasilkan arus listrik yang mengalir (M.Hendro, 2015).

Masing – masing tipe panel surya akan memiliki efisiensi yang berbeda pula tergantung ukuran dan juga bahan pembuatnya. Besarnya nilai efisiensi dari panel surya dapat dihitung dengan membagi daya output sel (dalam watt) pada daya maksimum dengan cahaya input (E , dalam W / m^2) dan luas permukaan sel surya (A di m^2). Adapun rumus perhitungan efisiensi panel surya adalah sebagai berikut.

$$\eta = \frac{P_{max}}{E \cdot A} \quad (2.1)$$



Gambar 2. 1 Prinsip Kerja Sel Surya

2.2 Solar Tracker

Solar tracker merupakan sebuah perangkat yang bisa mengarahkan panel surya ke arah datangnya cahaya matahari. Penggunaan *solar tracker* dapat meningkatkan produksi listrik sekitar sepertiga, dan beberapa juga mengklaim sebanyak 40% di beberapa daerah, dibandingkan dengan modul pada sudut yang tetap. Efisiensi konversi ditingkatkan ketika modul terus disesuaikan dengan sudut optimal yang mengarah ke arah datangnya cahaya matahari. Karena peningkatan efisiensi maka juga akan terjadi peningkatan hasil, penggunaan *solar tracker* dapat membuat perbedaan yang cukup besar terhadap hasil yang didapatkan dalam sebuah proses yang cukup besar (Reshmi Banerjee, 2015).



Gambar 2. 2 Dual axis solar tracker

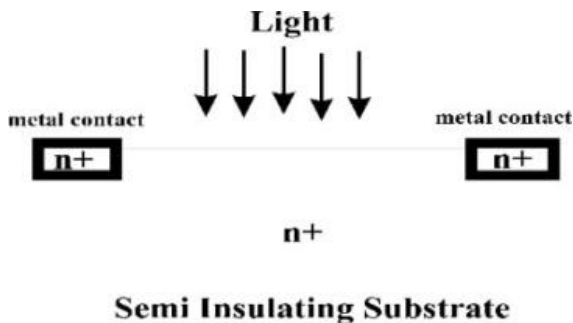
Posisi matahari di langit sangat bervariasi berdasarkan musim dan waktu saat matahari bergerak melintasi langit. Oleh karena itu ada juga dua jenis *solar tracker* berdasarkan sumbu penjejaknya antara lain :

- *Single axis solar tracker*
- *Dual axis solar tracker*

Single axis solar tracker merupakan sistem penjejak matahari sumbu tunggal dengan merubah posisi pada sudut *pitch* (timur dan barat) sesuai dengan perubahan sudut elevasi pada matahari. Sedangkan *dual axis solar tracker* merupakan sistem penjejak matahari dua sumbu dengan merubah posisi pada sudut *pitch* dan sudut *yaw* (selatan dan utara).

2.3 *Light Dependent Resistor (LDR)*

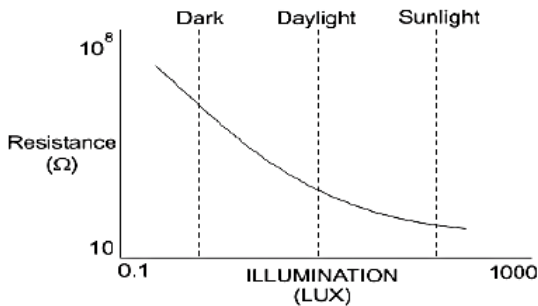
Light Dependent Resistor merupakan sebuah jenis sensor cahaya yang berbahan dasar material semikonduktor peka misalnya, *cadmium disulphide (CdS)*, *cadmium selenide*, *indium antimonide*, serta *cadmium sulphonide* yang memiliki tanggapan spektral dengan indera penglihatan manusia. Material ini disusun dengan pola zigzag seperti gambar 2.3 untuk memperoleh nilai resistansi dan power rating sesuai dengan keinginan. Dua daerah yang terpisah tersebut kemudian dihubungkan dengan sebuah logam yang biasa disebut dengan *ohmic*. Nilai resistansi *ohmic* dipastikan sangat kecil yang menyebabkan perubahan resistansi pengukuran merupakan seluruhnya hasil konversi dari berkas cahaya menjadi perubahan resistansi (M.Bates, 2010).



Gambar 2. 3 Konstruksi LDR

Sensor LDR memiliki karakteristik statik yang unik, hal ini terlihat pada sifat sensitif yang dimiliki sensor tersebut terhadap adanya perubahan intensitas cahaya. Prinsip kerja LDR adalah akan memiliki nilai resistansi yang kecil jika terkena berkas cahaya. Dan sebaliknya akan memiliki nilai resistansi yang tinggi jika tidak terkena berkas cahaya.

LDR memiliki hubungan antara *input* dan *output* yang nonlinier seperti yang ditunjukkan pada gambar 2.4. Semakin besar *input* intensitas cahaya yang diterima oleh LDR, maka akan semakin kecil nilai resistansi yang dihasilkan oleh sensor tersebut.



Gambar 2. 4 Grafik *Input Output* LDR

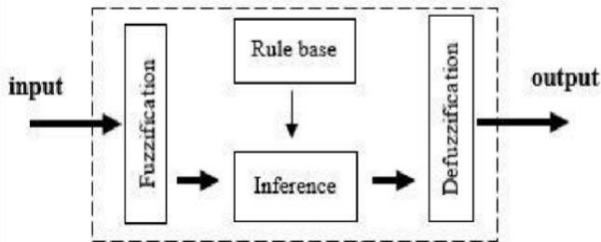
2.4 Logika Fuzzy

Logika *fuzzy* adalah sebuah logika berdasarkan metode dan prinsip dasar berpikir yang dimiliki oleh manusia. Pada prinsipnya logika *fuzzy* mengembangkan sebuah konsep penalaran manusia dengan menggunakan basis berupa aturan JIKA... MAKA... (*IF... THEN rules*). Prinsip yang dimiliki oleh logika *fuzzy* dapat digunakan untuk memodelkan fungsi nonlinier dari sebuah sistem yang kompleks dengan terdiri dari beberapa *input* dan *output*.

Konsep *fuzzy* yang dikenalkan oleh plato pada awalnya menjelaskan keberadaan daerah lain yaitu daerah ketiga diantara benar dan salah. Daerah tersebut memberikan peluang untuk memodelkan sesuatu yang tidak dapat didefinisikan secara tepat

dan akurat. Selain itu, teknik *fuzzy* juga dikembangkan melalui penalaran berupa perkiraan memberikan basis pengambilan keputusan yang terdapat pada sistem penalaran *fuzzy* (FIS).

Sistem penalaran *fuzzy* (FIS) yang dikembangkan oleh logika *fuzzy* pada dasarnya melakukan pemetaan secara nonlinier dari vektor data *input* ke *output* dalam bentuk saklar dengan menggunakan aturan-aturan *fuzzy* yang telah disepakati. Secara umum dasar struktur logika *fuzzy* dapat digambarkan sebagai berikut.



Gambar 2. 5 Sistematika *fuzzy logic controller* (Balabel, 2013)

Fungsi dari bagian-bagian diatas adalah sebagai berikut:

1. *Input*
Input atau masukkan pada *fuzzy logic* berupa *crisp* (variabel fisis) atau bilangan *real*. *Input* tersebut dapat berupa data linguistik maupun data numeric.
2. Fuzzifikasi
 Fuzzifikasi berfungsi untuk memetakan data *input* dalam bentuk *crisp* menjadi bilangan *fuzzy* dengan menentukan derajat keanggotaan *fuzzy* untuk masing-masing nilai *input*.
3. *Rule Base* dan *Fuzzy Inference System*
Rule Base berisi aturan-aturan dasar yang mendefinisikan himpunan *fuzzy* atas daerah-daerah masukan dan keluaran serta sebagai acuan sistem. Aturan dasar ini menggunakan persamaan *IF – THEN*. Untuk mendapatkan aturan “*IF-THEN*” ada dua cara utama :

- Menanyakan ke operator manusia yang dengan cara manual telah mampu mengendalikan sistem tersebut, dikenal dengan “*human expert*”.
- Dengan menggunakan algoritma pelatihan berdasarkan data-data masukan dan keluaran.

4. Defuzzifikasi

Defuzzifikasi berfungsi untuk memetakan *output* himpunan *fuzzy* ke dalam data crisp dengan kata lain defuzzifikasi akan mengembalikan setiap *output* himpunan *fuzzy* menjadi bilangan crisp

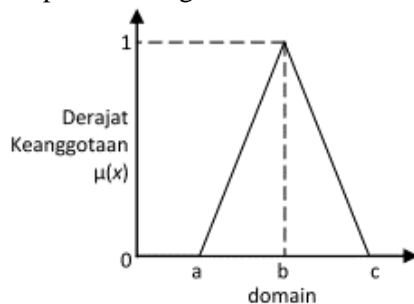
5. Output

Dari hasil defuzzifikasi, keluaran dari sistem *fuzzy* merupakan bilangan crisp.

Dalam implementasinya, himpunan *fuzzy* dapat dikarakteristikan seluruhnya melalui fungsi keanggotaannya. Fungsi keanggotaan pada satu dimensi dapat dipresentasikan kedalam 4 bentuk, seperti

1. Fungsi keanggotaan segitiga

Fungsi keanggotaan segitiga memiliki 3 parameter dalam implementasinya. Ketiga parameter tersebut adalah {a,b,c} yang dideskripsikan sebagai berikut



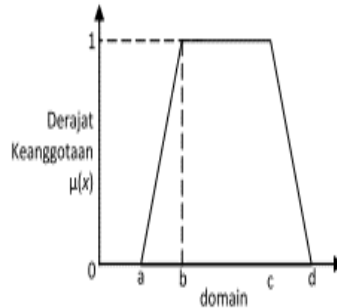
Gambar 2. 6 Fungsi Keanggotaan Segitiga (Balabel, 2013)

$$\left. \begin{aligned} \mu[x] &= 0; x \leq a \text{ atau } x \geq c \\ \mu[x] &= \frac{(x-a)}{(b-a)}; a < x \leq b \\ \mu[x] &= \frac{(c-x)}{(c-b)}; b < x \leq c \end{aligned} \right\} (2.2)$$

$$\mu[x] = \max\left(\min\left(\frac{(x-a)}{(b-a)}, \frac{(c-x)}{(c-b)}\right), 0\right) \quad (2.3)$$

2. Fungsi Keanggotaan Trapesium

Fungsi Keanggotaan trapesium memiliki 4 parameter dalam pembentukannya. Keempat parameter tersebut adalah $\{a,b,c,d\}$ yang dapat dideskripsikan sebagai berikut



Gambar 2. 7 Fungsi Keanggotaan Trapesium (Balabel, 2013)

$$\left. \begin{aligned} \mu[x] &= 0; x \leq a \text{ atau } x \geq c \\ \mu[x] &= \frac{(x-a)}{(b-a)}; a < x \leq b \end{aligned} \right\} \quad (2.4)$$

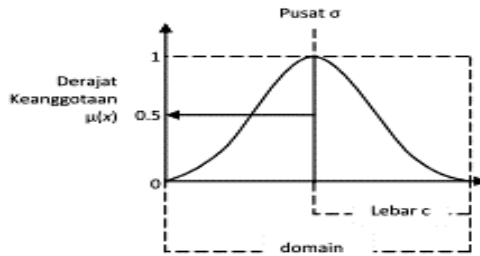
$$\left. \begin{aligned} \mu[x] &= 1; b \leq x \leq c \\ \mu[x] &= \frac{(d-x)}{(d-b)}; c < x \leq d \end{aligned} \right\} \quad (2.5)$$

$$\mu[x] = \max\left(\min\left(\frac{(x-a)}{(b-a)}, 1, \frac{(d-x)}{(d-b)}\right), 0\right)$$

3. Fungsi Keanggotaan Gaussian

Fungsi Keanggotaan Gaussian memiliki 2 parameter $\{c,\sigma\}$ dalam pembentukannya. Fungsi parameter c adalah untuk mempresentasikan pusat fungsi keanggotaan dan σ mempresentasikan lebar fungsi keanggotaan. Fungsi keanggotaan gaussian dideskripsikan sebagai berikut.

$$\mu[x] = e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{x-c}{\sigma}\right)^2} \quad (2.6)$$

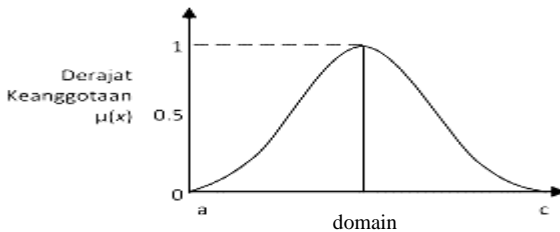


Gambar 2. 8 Fungsi Keanggotaan Gaussian (Balabel, 2013)

4. Fungsi Keanggotaan *Generalized Bell*

Fungsi keanggotaan *generalized bell* memiliki 3 parameter dalam pembentukannya. Parameter tersebut adalah $\{a,b,c\}$ dimana nilai a bernilai positif dan nilai b bernilai negatif yang mengakibatkan kurva terbuka keatas. Fungsi keanggotaan *generalized bell* dapat dideskripsikan sebagai berikut

$$\mu[x] = \frac{1}{1 + \left| \frac{x-c}{a} \right|^{2b}} \quad (2.7)$$

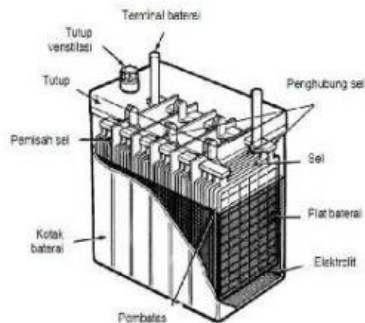


Gambar 2. 9 Fungsi Keanggotaan *Generalized bell* (Balabel, 2013)

2.5 Baterai

Baterai merupakan sebuah *device* yang mengandung sel listrik yang digunakan untuk menyimpan energi listrik dan nantinya energi tersebut dapat digunakan sebagai sumber energi listrik. Di dalam baterai berlangsung proses elektrokimia yang

reversible (berkebalikan). Yang dimaksud dengan *reversible* adalah dimana baterai dapat mengubah energi kimia menjadi energi listrik (proses *discharge*) begitu juga sebaliknya dapat mengubah energi listrik menjadi energi kimia (proses *charging*) dengan cara melewatkan arus listrik dalam arah polaritas yang berlawanan di dalam sel. Jenis baterai ada 2 yaitu baterai primer dan baterai sekunder. Baterai primer adalah baterai yang hanya dapat digunakan sekali pemakaian saja dan tidak dapat diisi ulang. Sedangkan baterai sekunder merupakan baterai yang dapat dipergunakan berkali-kali dan dapat diisi ulang.



Gambar 2. 10 Gambar Konstruksi baterai

Dalam sebuah baterai memiliki kapasitas energi maksimum yang nantinya dapat disimpan di dalam baterai. Kapasitas baterai merupakan kemampuan baterai dalam menyimpan daya listrik atau besarnya energi yang dapat disimpan dan dikeluarkan oleh baterai. Besarnya kapasitas, tergantung dari banyaknya bahan aktif pada plat positif maupun plat negatif yang bereaksi, dipengaruhi oleh jumlah plat tiap-tiap sel, ukuran, dan tebal plat, kualitas elektrolit serta umur baterai. Kapasitas energi suatu baterai dinyatakan dalam ampere jam (Ah). Besar kecilnya tegangan baterai ditentukan oleh besar / banyak sedikitnya sel baterai yang ada di dalamnya. Sekalipun demikian, arus hanya akan mengalir bila ada konduktor dan beban yang dihubungkan

ke baterai. Kapasitas baterai juga menunjukkan kemampuan baterai untuk mengeluarkan arus (*discharging*) selama waktu tertentu, dinyatakan dalam Ah (*Ampere – hour*). Berarti sebuah baterai dapat memberikan arus yang kecil untuk waktu yang lama atau arus yang besar untuk waktu yang pendek. Pada saat baterai diisi (*charging*), terjadilah penimbunan muatan listrik. Jumlah maksimum muatan listrik yang dapat ditampung oleh baterai disebut kapasitas baterai dan dinyatakan dalam ampere jam (*Ampere - hour*), muatan inilah yang akan dikeluarkan untuk menyuplai beban ke pelanggan. Kapasitas baterai dapat dinyatakan dengan persamaan dibawah ini :

$$Ah = \text{Kuat Arus (ampere)} \times \text{waktu (hours)} \quad (2.8)$$

Dimana :

Ah = kapasitas baterai aki

I = kuat arus (ampere)

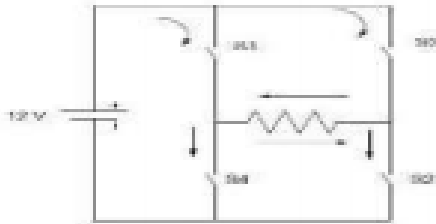
t = waktu (jam/sekon)

2.6 Inverter

Inverter adalah adalah sebuah piranti / *device* yang dapat digunakan untuk mengubah sumber tegangan DC menjadi sumber tegangan AC. Di dalam sebuah inverter terdapat beberapa komponen semikonduktor yang digunakan berupa SCR, transistor, dan MOSFET yang berfungsi sebagai saklar. Terdapat dua jenis inverter yaitu inverter satu fasa dan inverter tiga fasa. Inverter dapat disebut sebagai inverter catu-tegangan (*voltage-fed inverter-VFI*) jika tegangan masukan selalu dijaga konstan, dan dikatakan inverter catu-arus (*current-fed inverter-CFI*) apabila arus masukan selalu dipelihara konstan, serta disebut inverter variabel (*variable dc linked inverter*) apabila tegangan masukan dapat diatur. Selanjutnya, jika ditinjau dari proses konversi, inverter dapat dibedakan dalam tiga jenis, yaitu inverter : seri, paralel, dan jembatan. Inverter jembatan dapat dibedakan menjadi inverter setengah-jembatan (*half-bridge*) dan jembatan (*bridge*).

Prinsip kerja inverter dapat di jelaskan dengan menggunakan 4 sakelar. Bila sakelar S1 dan S2 dalam kondisi on maka akan mengalir aliran arus DC ke beban R dari arah kiri ke kanan, jika

yang hidup adalah sakelar S3 dan S4 maka akan mengalir aliran arus DC ke beban R dari arah kanan ke kiri (Maharmi B, 2017). Berikut gambar prinsip kerja inverter.



Gambar 2. 11 Gambar Prinsip kerja inverter

2.7 Lampu Penerangan Jalan

Lampu penerangan jalan adalah sebuah bagian yang melengkapi jalan dan dipasang di kiri / kanan jalan bertujuan untuk menerangi jalan maupun lingkungan sekitar. Adapun fungsi dari lampu penerangan jalan adalah sebagai berikut.

1. Digunakan untuk alat bantu navigasi bagi para pengguna jalan.
2. Meningkatkan keselamatan dan kenyamanan pengguna jalan khususnya pada waktu malam hari.
3. Menghasilkan kontras antara jalan dan objek.
4. Menambah nilai keindahan lingkungan.
5. Mendukung keamanan lingkungan.

Berdasarkan jenisnya lampu penerangan jalan dapat dikelompokkan sebagai berikut.

a. Lampu Merkuri

Prinsip kerjanya yaitu cahaya yang dipancarkan berdasarkan loncatan elektron di dalam tabung. Lampu merkuri terdiri dari dua tabung yaitu tabung dari gelas kuarsa dan bohlam luar. Prinsip kerjanya hampir sama dengan lampu *fluorescent*.



Gambar 2. 12 Lampu merkuri

b. Lampu *Fluorescent*

Merupakan jenis lampu yang di dalam tabungnya ada sedikit merkuri dan gas argon dengan tekanan rendah serta serbuk fosfor melapisi seluruh permukaan kaca tabung. Terdapat dua elektrode di masing – masing ujung tabung.



Gambar 2. 13 Gambar Lampu *Fluorescent*

c. Lampu LED

Adalah bahan semikonduktor yang mengeluarkan cahaya ketika arus listrik melaluinya. Jika sumber arus listrik diberikan ke LED maka *pole* akan mengalir ke arah N dan elektron mengalir ke arah P. Cahaya yang dihasilkan LED bermacam-macam tergantung bahan semikonduktor yang digunakan.



Gambar 2. 14 Lampu LED

2.8 Kontrol Proportional-Integral-Derivatif

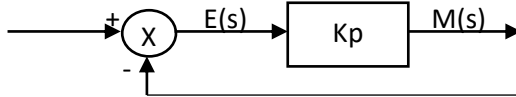
Di dalam suatu sistem kontrol mengenal adanya beberapa macam aksi kontrol, diantaranya yaitu aksi kontrol proporsional, aksi kontrol integral dan aksi kontrol derivative. Masing-masing aksi kontrol ini mempunyai keunggulan - keunggulan tertentu, dimana aksi kontrol proporsional mempunyai keunggulan *rise time* yang cepat, aksi kontrol integral mempunyai keunggulan untuk memperkecil *error* dan aksi kontrol derivative mempunyai keunggulan untuk memperkecil *error* atau meredam *overshoot/undershoot*. Untuk itu agar kita dapat menghasilkan output dengan *rise time* yang cepat dan *error* yang kecil kita dapat menggabungkan ketiga aksi kontrol ini menjadi aksi kontrol PID.

Parameter pengontrol Proporsional Integral Derivative (PID) selalu didasari atas tinjauan terhadap karakteristik yang diatur (*plant*). Dengan demikian bagaimanapun rumitnya suatu *plant*, perilaku *plant* tersebut harus diketahui terlebih dahulu sebelum pencarian parameter PID itu dilakukan.

2.8.1. Pengontrol Proportional

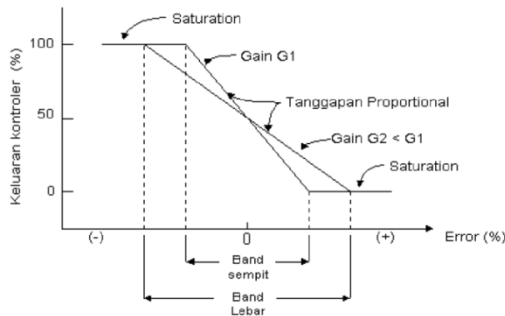
Pengontrol proporsional memiliki *output* yang sebanding atau proporsional dengan besarnya sinyal kesalahan (selisih antara besaran yang diinginkan dengan harga aktualnya). Secara lebih sederhana dapat dikatakan bahwa *output* pengontrol proporsional merupakan perkalian antara konstanta proporsional dengan

inputnya. Perubahan pada sinyal *input* akan segera menyebabkan sistem secara langsung mengeluarkan *output* sinyal sebesar konstanta pengalinya.



Gambar 2. 15 Diagram blok kontroler proporsional

Gambar 2.15 menunjukkan blok diagram yang menggambarkan hubungan antara besaran *setting*, besaran aktual dengan besaran *output* pengontrol proporsional. Sinyal keasalahan (*error*) merupakan selisih antara besaran *setting* dengan besaran aktualnya. Selisih ini akan mempengaruhi pengontrol, untuk mengeluarkan sinyal positif (mempercepat pencapaian harga *setting*) atau negatif (memperlambat tercapainya harga yang diinginkan).



Gambar 2. 16 *Proportional band* dari pengontrol proporsional tergantung pada penguatan

Pengontrol proposional memiliki 2 parameter, pita proposional (*proportional band*) dan konstanta proporsional. Daerah kerja kontroler efektif dicerminkan oleh pita proporsional sedangkan konstanta proporsional menunjukkan nilai faktor penguatan sinyal terhadap sinyal kesalahan K_p . Hubungan antara

pita proporsional (PB) dengan konstanta proporsional (K_p) ditunjukkan secara persentasi oleh persamaan berikut:

$$PB = 1/K_p \times 100\% \quad (2.9)$$

Gambar 2.16 menunjukkan grafik hubungan antara PB, *output* pengontrol dan kesalahan yang merupakan *input* pengontrol. Ketika konstanta proporsional bertambah semakin tinggi, pita proporsional menunjukkan penurunan yang semakin kecil, sehingga lingkup kerja yang dikuatkan akan semakin sempit.

Ciri-ciri pengontrol proposional harus diperhatikan ketika pengontrol tersebut diterapkan pada suatu sistem. Secara eksperimen, pengguna pengontrol proporsional harus memperhatikan ketentuan-ketentuan berikut ini :

1. Kalau nilai K_p kecil, pengontrol proposional hanya mampu melakukan koreksi kesalahan yang kecil, sehingga akan menghasilkan respon sistem yang lambat.
2. Kalau nilai K_p dinaikan, respon sistem menunjukkan semakin cepat mencapai *set point* dan keadaan stabil.
3. Namun jika nilai K_p diperbesar sehingga mencapai harga yang berlebihan, akan mengakibatkan sistem bekerja tidak stabil, atau respon sistem akan berisolasi.

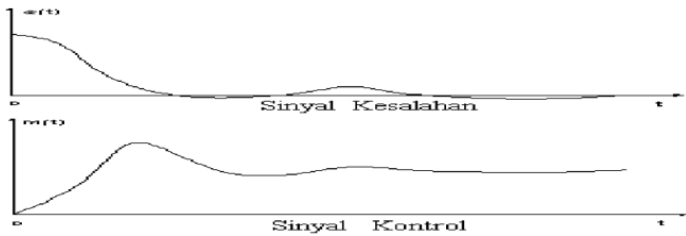
2.8.2. Pengontrol Integral

Pengontrol integral berfungsi menghasilkan respon sistem yang memiliki kesalahan keadaan stabil nol. Jika sebuah *plant* tidak memiliki unsur integrator ($1/s$), pengontrol proposional tidak akan mampu menjamin keluaran sistem dengan kesalahan keadaan stabilnya nol. Dengan pengontrol integral, respon sistem dapat diperbaiki, yaitu mempunyai kesalahan keadaan stabilnya nol.

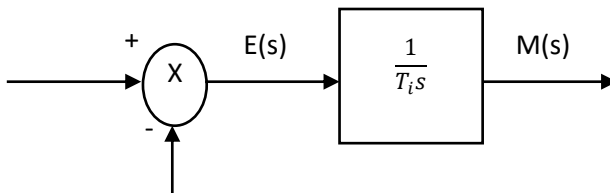
Pengontrol integral memiliki karakteristik seperti halnya sebuah integral. *Output* sangat dipengaruhi oleh perubahan yang sebanding dengan nilai sinyal kesalahan. *Output* pengontrol ini merupakan penjumlahan yang terus menerus dari perubahan *inputnya*. Kalau sinyal kesalahan tidak mengalami perubahan,

output akan menjaga keadaan seperti sebelum terjadinya perubahan *input*.

Sinyal *output* pengontrol integral merupakan luas bidang yang dibentuk oleh kurva kesalahan penggerak. Sinyal *output* akan berharga sama dengan harga sebelumnya ketika sinyal kesalahan berharga nol. Gambar 2.17 menunjukkan contoh sinyal kesalahan yang dimasukkan ke dalam pengontrol integral dan keluaran pengontrol integral terhadap perubahan sinyal kesalahan tersebut.



Gambar 2. 17 Kurva sinyal kesalahan $e(t)$ terhadap t pada pembangkit kesalahan nol



Gambar 2. 18 Blok diagram hubungan antara besaran kesalahan dengan pengontrol integral

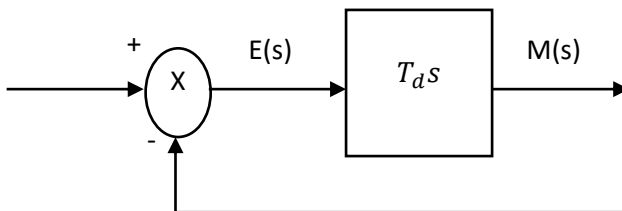
Ketika digunakan, pengontrol integral mempunyai beberapa karakteristik berikut ini:

1. *Output* pengontrol membutuhkan selang waktu tertentu, sehingga pengontrol integral cenderung memperlambat respon.

2. Ketika sinyal kesalahan berharga nol, *output* pengontrol akan bertahan pada nilai sebelumnya.
3. Jika sinyal kesalahan tidak berharga nol, *ouput* akan menunjukkan kenaikan atau penurunan yang dipengaruhi oleh besarnya sinyal kesalahan dan nilai K_i .
4. Konstanta integral K_i yang berharga besar akan mempercepat hilangnya *offset*. Tetapi semakin besar nilai konstanta K_i akan mengakibatkan peningkatan osilasi dari sinyal *output* pengontrol.

2.8.3. Pengontrol Derivatif

Keluaran pengontrol derivative memiliki sifat seperti halnya suatu operasi differensial. Perubahan yang mendadak pada input pengontrol, akan mengakibatkan perubahan yang sangat besar dan cepat. Gambar 2.19 menunjukkan blok diagram yang menggambarkan hubungan antara sinyal kesalahan dengan *output* pengontrol.

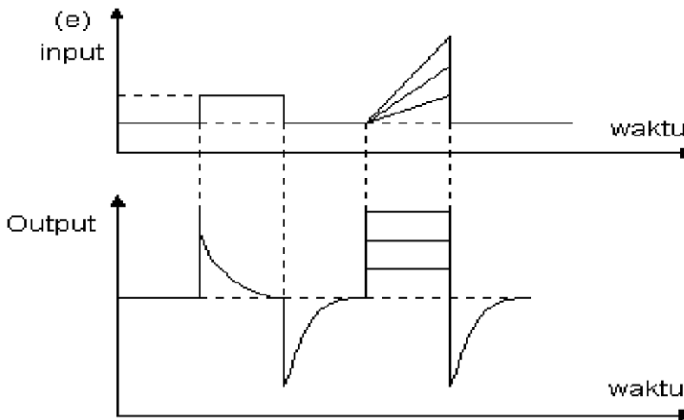


Gambar 2. 19 Hubungan antara sinyal *input* dengan sinyal *output* pengontrol Derivative

Ketika *inputnya* tidak mengalami perubahan, *output* pengontrol juga tidak mengalami perubahan, sedangkan apabila sinyal *input* berubah mendadak dan menaik (berbentuk fungsi step), *output* menghasilkan sinyal berbentuk impuls. Jika sinyal *input* berubah naik secara perlahan (fungsi ramp), *outputnya* justru merupakan fungsi step yang besar magnitudnya sangat dipengaruhi oleh kecepatan naik dari fungsi ramp dan faktor konstanta differensialnya.

Karakteristik pengontrol derivative adalah sebagai berikut:

1. Pengontrol ini tidak dapat menghasilkan *output* bila tidak ada perubahan pada *input*nya (berupa sinyal kesalahan).
2. Jika sinyal kesalahan berubah terhadap waktu, maka *output* yang dihasilkan pengontrol tergantung pada nilai T_d dan laju perubahan sinyal kesalahan. (Powel, 1994).
3. Pengontrol derivative mempunyai suatu karakter untuk mendahului, sehingga pengontrol ini dapat menghasilkan koreksi yang signifikan sebelum pembangkit kesalahan menjadi sangat besar. Jadi pengontrol derivative dapat mengantisipasi pembangkit kesalahan, memberikan aksi yang bersifat korektif, dan cenderung meningkatkan stabilitas sistem.

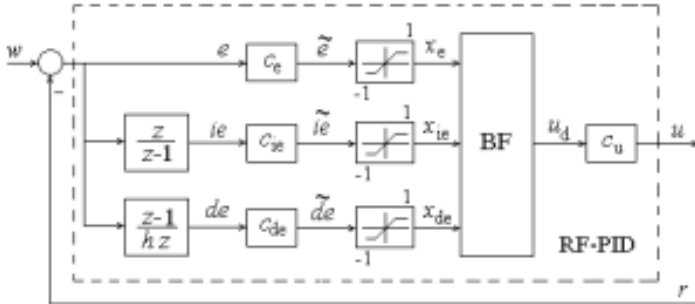


Gambar 2. 20 Kurva waktu hubungan *input-output* pengontrol Derivative

Berdasarkan karakteristik pengontrol tersebut, pengontrol derivative umumnya dipakai untuk mempercepat respon awal suatu sistem, tetapi tidak memperkecil kesalahan pada keadaan stabilnya. Kerja pengontrol derivative hanyalah efektif pada lingkup yang sempit, yaitu pada periode peralihan. Oleh sebab itu

pengontrol derivative tidak pernah digunakan tanpa ada pengontrol lain sebuah sistem (Sutrisno, 1990).

2.9 Fuzzy PID Controller



Gambar 2. 21 Diagram blok *Fuzzy PID controller*

Struktur kontroler Fuzzy PID terdapat pada Gambar 2.15. Dalam hal ini derivasi dan integrasi dibuat dari *input fuzzy*, pada *error* (e) (Volosencu, 2012).

Fungsi transfer pengontrol PID diperoleh dengan mempertimbangkan linierisasi dari blok fuzzy BF di sekitar titik asal, untuk $x_e = 0$, $x_{ie} = 0$, $x_{de} = 0$ dan $u_d = 0$ dengan relasi bentuk berikut:

$$u_d = K_0(x_e + x_{ie} + x_{de}) \quad (2.10)$$

Hubungan blok fuzzy dari kontroler PID memiliki 3 variabel *input* adalah sebagai berikut :

$$K_{BF}(x_e; x_{ie}; x_{de} = 0) = \frac{u_d}{x_t}, x_t \neq 0 \quad (2.11)$$

Dimana :

$$x_t = x_e + x_{ie} + x_{de} \quad (2.12)$$

Nilai K_0 adalah nilai batas asal dari karakteristik fungsi :

$$K_0 = \lim_{x_t \rightarrow 0} K_{BF}(x_e; x_{ie}, x_{de}) \quad (2.13)$$

Kemudian didapatkan nilai koreksi menggunakan persamaan berikut.

$$u = c_u K_0 (x_e + x_{ie} + x_{de}) \quad (2.14)$$

Dimana :

$$c_u = c_u K_0 \quad (2.15)$$

Untuk kontrol fuzzy RF-PID dengan linearisasi blok fuzzy BF dapat ditulis dengan,

$$u(z) = c_u [x_e(z) + x_{ie}(z) + x_{de}(z)] = c_u \left[c_e + c_{ie} \frac{z}{z-1} + c_{de} \frac{z-1}{hz} \right] e(z) \quad (2.16)$$

Maka nilai fungsi transfer dapat ditulis menjadi :

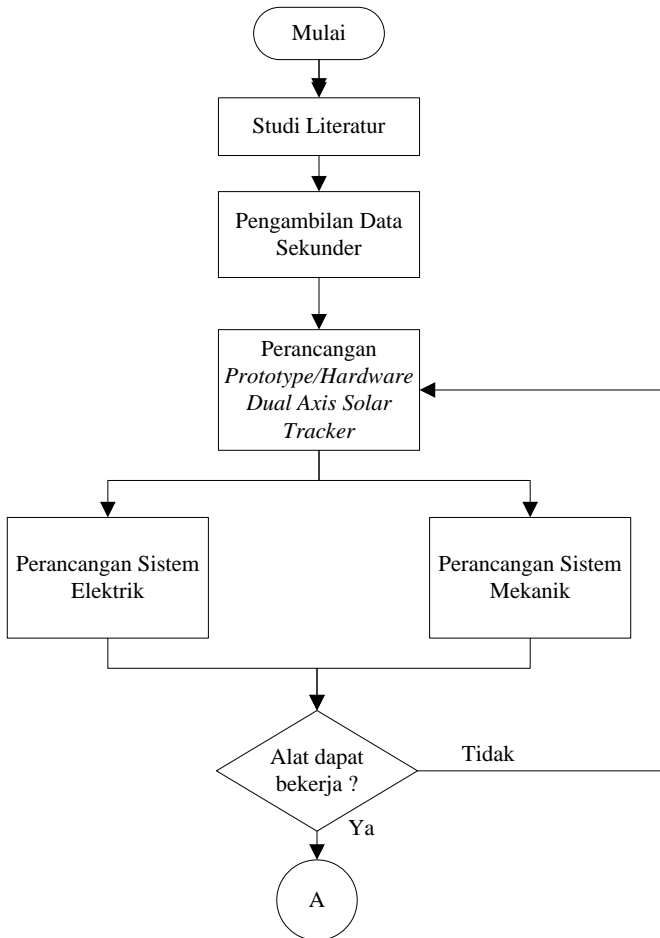
$$H_{RF}(z) = \frac{u(z)}{e(z)} = c_u \left[c_e + c_{ie} \frac{z}{z-1} + c_{de} \frac{z-1}{hz} \right] \quad (2.17)$$

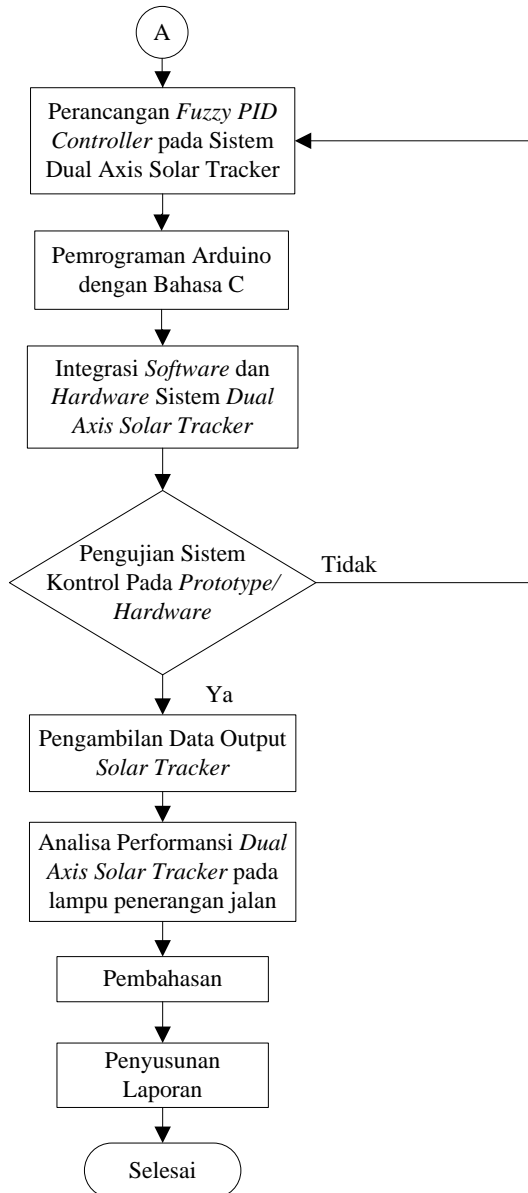
Untuk kontrol PID linear dapat ditulis dengan persamaan berikut.

$$H_{RG}(s) = K_{RG} \left[1 + T_D s + \frac{1}{T_I s} \right] \quad (2.18)$$

BAB III METODOLOGI

Tahapan-tahapan dalam melakukan penelitian Tugas Akhir ini ditunjukkan pada gambar 3.1. Tahapan-tahapan tersebut secara lebih rinci diuraikan dalam deskripsi berikut:





Gambar 3. 1 Diagram alir tahapan penelitian

3.1 Studi Literatur

Studi literatur merupakan tahapan awal yang dilakukan untuk memperoleh teori dasar yang digunakan untuk menyelesaikan suatu masalah. Penelusuran terkait beberapa teori dasar dapat diperoleh dari buku teks / handbook, ebook, journal baik berskala nasional maupun internasional, penelitian sebelumnya serta dari pustaka lain yang dapat dipertanggung jawabkan kebenarannya.

Adapun teori yang menjadi konsentrasi utama terkait tugas akhir kali ini berupa sistem dari sistem *active solar tracker*, metode *Fuzzy PID Controller*, perancangan model sistem, sistem mekanik dan sistem elektrik *hardware* sistem *active solar tracker*, pemrograman dari sistem *Fuzzy PID Controller*.

3.2 Pengambilan Data Sekunder

Untuk mempermudah perancangan dari sistem penjejak matahari maka dibutuhkan data sekunder dari sistem penjejak matahari tersebut. Adapun data sekunder yang dibutuhkan adalah data parameter mekanik seperti desain *solar tracker* dan data parameter elektrik seperti spesifikasi *photovoltaic*, spesifikasi kontroler, spesifikasi motor DC dan sensor LDR.

3.2.1. Spesifikasi PV

Pada penelitian Tugas Akhir ini, digunakan sebuah *photovoltaic* pada sistem *active solar tracker*. Adapun spesifikasi dari *photovoltaic* yang digunakan pada penelitian kali ini adalah sebagai berikut:

Tabel 3. 1 Spesifikasi Panel PV

Karakteristik Solar Panel Monokristalin 100WP	
	Spesifikasi
Type	100-monocrystalline
Pmax	100 W
Vmp	17,8 V
Imp	5,62 A

Tabel 3. 2 Spesifikasi Panel PV (lanjutan)

Voc	21,5 V
Isc	6,07 A
Dimensi	(1200x540x30) mm

3.2.2. Aktuator (Motor DC)

Aktuator yang digunakan adalah motor DC, dimana terdapat dua motor DC yang berfungsi sebagai penggerak panel surya berdasarkan dua sudut yaitu sudut *pitch* dan sudut *yaw*. Dalam proses operasional motor DC memerlukan driver motor yang berfungsi sebagai pengatur arah dan kecepatan (PWM) motor. Berikut spesifikasi yang terdapat pada motor DC dan driver motor tersebut.

Tabel 3. 3 Spesifikasi motor DC

DC Motor Built-in Gearbox		
	Motor <i>Pitch</i>	Motor <i>Yaw</i>
Working Voltage	DC 4.5V – 18V	DC 4.5V – 18V
Arus	1.5A	1.5A
Kecepatan	200 rpm	200 rpm
Torsi	3.6 Kg.cm	3.6 Kg.cm
Dimensi body (cm)	P = 10 x d = 6	P = 10 x d = 6
	Motor <i>Pitch</i>	Motor <i>Yaw</i>
Dimensi Shaft (cm)	P = 3 x d = 0,5	P = 3 x d = 0,5
Berat	0.3 Kg	0.3 Kg

Tabel 3. 4 Spesifikasi driver motor DC

Driver Motor DC 15A Mosfet Dual H-Bridge	
Vmotor	36 VDC (max)
Arus	15A (max)
Kontrol logic TTL	3 – 5 VDC
Pins	6 pins (4 pin directions and 2 pins PWM)
Max motor	2 motor DC
Dimensi	10 x 7 cm

3.2.3. Sensor (Sensor LDR, Tegangan, dan Arus)

Sensing element yang digunakan ada tiga jenis, yaitu sensor LDR yang beroperasi saat mode aktif solar tracker dan. Sensor Arus ACS712-20 dan sensor tegangan digunakan untuk mengukur output *photovoltaic*. Berikut spesifikasi masing-masing sensor.

Tabel 3. 5 Spesifikasi sensor LDR, Arus, dan Tegangan

Sensing Element	
Sensor LDR	
Dimensi	6 mm
Max Voltage (VDC)	150
Spectrum Peak Value	540
Sensor Arus ACS712-20A	
<i>Optimized Accuracy Range (I_p)</i>	-20 – 20 A
<i>Sensitivity</i>	96 – 104 mV/A
<i>Power</i>	5 VDC
Sensor Tegangan	
<i>Voltage Input Range</i>	0 – 25 VDC
<i>Voltage Detection Range</i>	0.2445 – 25 VDC
<i>Voltage Analog Resolution</i>	0.00489 V

3.2.4. Kontroler (Arduino Mega 2560)

Adapun kontroler yang digunakan adalah mikrokontroler arduino mega2560 dengan spesifikasi sebagai berikut yang ditunjukkan pada tabel 3.5.

Tabel 3. 6 Spesifikasi Arduino Mega 2560

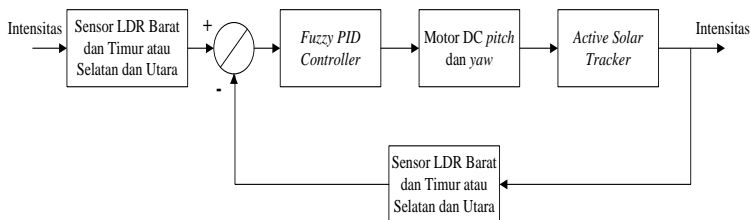
Chip mikrokontroller	Atmega 2560
Tegangan operasi	5V
Tegangan <i>input</i> (rekomendasi, via jack DC)	7V - 12V

Tabel 3. 7 Spesifikasi Arduino Mega 2560 (lanjutan)

Tegangan <i>input</i> (limit, via jack DC)	6V - 20V
Digital I/O pin	54 buah,
Analog <i>input</i> pin	16 buah
Arus DC per pin I/O	20 mA
Arus DC pin 3.3V	50 mA

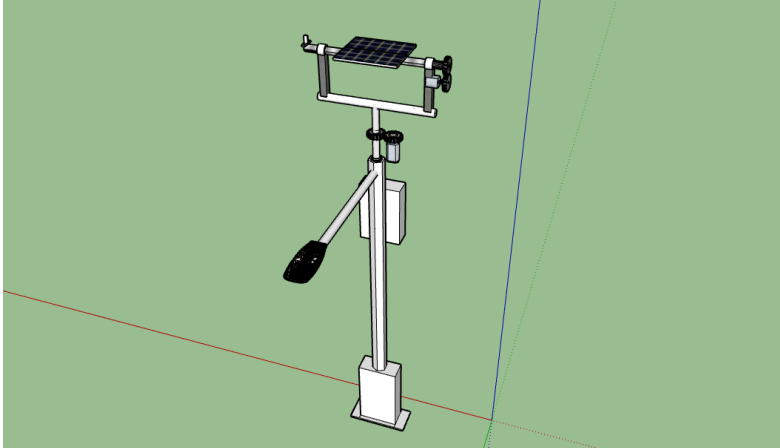
3.3 Perancangan *Prototype / Hardware Solar Tracker*

Dalam implementasinya, *solar tracker* pada penelitian kali ini memiliki diagram blok sebagai berikut.

Gambar 3. 2 Diagram Blok *Solar Tracker*

Perancangan *solar tracker* yang dilakukan terdiri dari dua tahap yaitu subsistem mekanik dan subsistem elektrik. Subsistem mekanik merupakan bagian pendukung *solar tracker* untuk dapat berfungsi sesuai dengan yang diinginkan. Subsistem ini terdiri dari beberapa unsur seperti kerangka *solar tracker*, motor DC dan *photovoltaic* (PV) itu sendiri. Kerangka *solar tracker* terbuat dari bahan dasar besi yang berbentuk tiang lampu penerangan jalan. Dimana pada bagian bawah berbentuk persegi yang berguna untuk menopang kerangka di atasnya dan memiliki 4 buah roda yang berfungsi untuk memudahkan *solar tracker* berpindah posisi dan dalam pengambilan data. Sedangkan bagian atas tersusun kerangka berbentuk cabang digunakan untuk menyangga kedua sisi PV panel dan kedua motor DC. Motor DC berfungsi untuk menjaga posisi panel selalu tegak lurus terhadap matahari dengan tujuan agar PV menerima intensitas yang maksimal dan menghasilkan energi maksimum. Kerangka atas dari *solar tracker*

pada penelitian ini memiliki dimensi tinggi sebesar 5 m serta dimensi panjang dan lebar sebesar 0,5 m. Berdasarkan perancangan tersebut, maka dibuatlah desain *prototype active solar tracker* menggunakan software *Sketch up* seperti yang terdapat pada gambar 3.3.



Gambar 3. 3 Desain *prototype solar tracker*

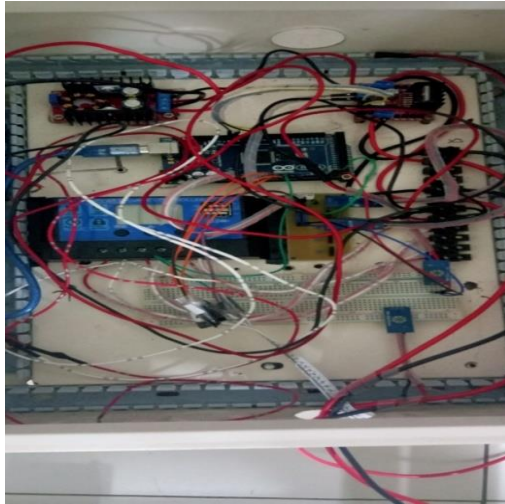
Subsistem elektrik terdiri dari beberapa komponen seperti *power supply*, *mikrokontroller*, *motor driver*, modul *step up*, modul *step down* dan sensor LDR. *Power supply* yang digunakan pada penelitian ini berasal dari baterai aki dengan kapasitas *output* sebesar 12V – 13,9V. Untuk suplai tegangan *input* pada *mikrokontroller* membutuhkan *input* tegangan sebesar 5V, sehingga perlu adanya penurunan tegangan dari *power supply*. Penurunan tegangan tersebut dilakukan oleh modul *step down* sehingga menjadi tegangan standart yang dibutuhkan oleh *mikrokontroller*. Sementara itu, pada *mikrokontroller* arduino mega diisi dengan algoritma *PID controller* yang telah dioptimasi oleh *fuzzy logic controller*. Untuk *supply* tegangan motor driver diperlukan tegangan sebesar 18V, sehingga dalam rangkaian elektrik penelitian ini dibutuhkan modul *step up* yang berfungsi untuk menaikkan tegangan dari *power supply*. Driver motor pada penelitian ini berfungsi untuk mengatur *supply* tegangan pada

motor DC agar sesuai dengan perintah dari kontroller, selain itu sebagai piranti pengatur arah motor DC baik untuk searah maupun berlawanan arah jarum jam. Adapun tipe motor driver yang digunakan adalah IC L298N.



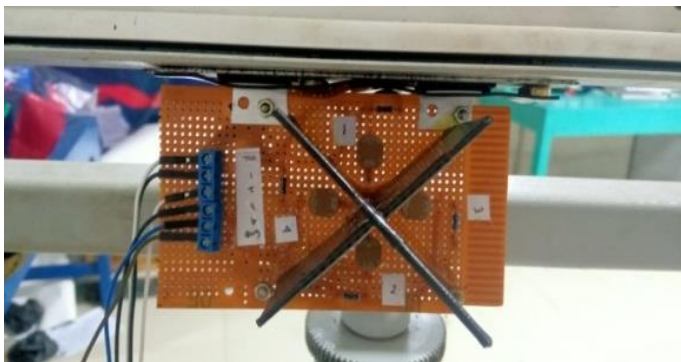
Gambar 3. 4 Realisasi subsistem mekanik *solar tracker*

Setelah membuat desain *prototype* dengan menggunakan software Sketch Up, selanjutnya dilakukan pembuatan subsistem mekanik. Pertama membuat penyangga tiang terlebih dahulu. Penyangga bawah tiang dibuat dengan bentuk persegi dan terdapat 4 buah roda yang dipasang di setiap sudutnya untuk memudahkan nantinya saat dilakukan pengambilan data. Kemudian mengukur panjang tiang lampu yang akan dibuat. Lalu dibuat tempat untuk menempatkan *photovoltaic* yang akan digunakan. Realisasi subsistem mekanik dapat dilihat pada gambar 3.4.



Gambar 3. 5 Realisasi subsistem elektrik *solar tracker*

Setelah pembuatan subsistem mekanik selesai selanjutnya dilakukan perancangan subsistem elektrik. Komponen tersebut dipasang di dalam sebuah *box panel*. Terdapat beberapa komponen yang terpasang di dalam box antara lain adalah arduino mega 2560, driver motor L298N, transformator *step up*, *solar charge controller*, sensor arus ACS 712, sensor tegangan. Rangkaian subsistem elektrik bisa dilihat pada gambar 3.5.

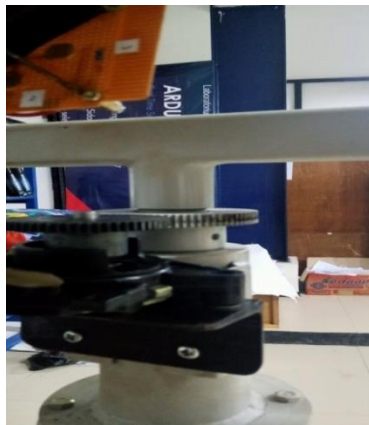


Gambar 3. 6 Pemasangan sensor LDR

Komponen lain dari subsistem elektrik adalah sensor LDR yang terdiri dari 4 buah LDR, yaitu LDR utara, LDR selatan, LDR timur dan LDR barat. Posisi utara selatan untuk sudut pitch dan posisi barat timur untuk sudut yaw seperti yang ada pada Gambar 3.6. Sensor LDR merupakan sebuah sensor yang digunakan pada penelitian ini yang digunakan untuk mendeteksi perubahan posisi matahari berdasarkan tingkat intensitas yang diterima oleh sensor tersebut.



Gambar 3. 7 Pemasangan motor untuk sudut *pitch*



Gambar 3. 8 Pemasangan motor untuk sudut *yaw*

Pemasangan motor pada sudut *pitch* diletakkan pada bagian samping dari panel surya. Dengan desain ini panel surya dapat bergerak dengan sudut maksimum *pitch* 180^0 seperti pada Gambar 3.7.

Sedangkan motor pada sudut *yaw* ditempatkan pada posisi bawah dari panel surya. Panel surya yang dibuat dengan desain seperti ini dapat bergerak dengan sudut *yaw* maksimum 360^0 seperti yang ada pada Gambar 3.8.

3.4 Pengujian Komponen

Dalam pengujian komponen dilakukan dengan menguji kerja dari beberapa komponen yang digunakan, yaitu sensor LDR , sensor arus ACS712-20A, sensor tegangan, dan performansi PV . Pengujian ini bertujuan untuk memastikan komponen yang digunakan berfungsi dengan baik dan mengetahui karakteristik performansi serta pembacaan *hardware*. Hasil pengujian beberapa komponen tersebut akan dijabarkan pada bab selanjutnya.

3.5 Perancangan Fuzzy PID Active Solar Tracker pada Lampu Penerangan Jalan

Nilai *input* dari sistem ada dua yaitu *error* dan *deltaerror* yang akan menghasilkan tiga *output* yaitu nilai K_p , K_i , dan K_d yang nantinya akan digunakan untuk menentukan nilai PWM dan arah motor.

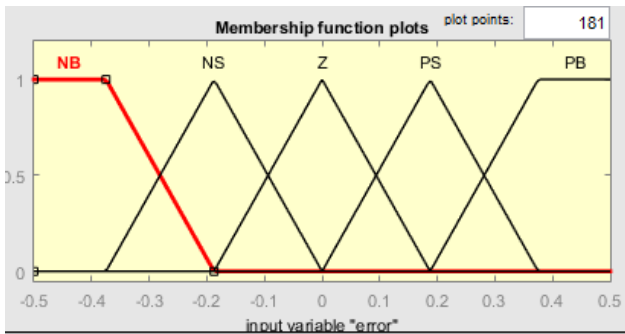
Tabel 3. 8 Tabel nilai *input* sistem

Input	Nilai Input Sistem
<i>Error</i> \angle_{yaw} (t)	Tegangan LDR _{utara} - LDR _{selatan}
<i>Deltaerror</i> \angle_{yaw} (t)	Error \angle_{yaw} (t) – Error \angle_{yaw} (t-1)
<i>Error</i> \angle_{pitch} (t)	Tegangan LDR _{utara} - LDR _{selatan}
<i>Deltaerror</i> (t) \angle_{pitch}	Error \angle_{pitch} (t) – Error \angle_{pitch} (t-1)

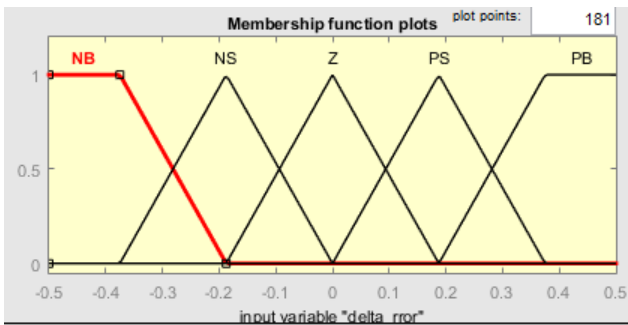
Pada kasus ini nilai *error* didefinisikan sebagai perbedaan nilai tegangan yang dihasilkan oleh empat buah LDR yang nantinya saling mempengaruhi. Untuk dua buah LDR yaitu barat dan timur akan mempengaruhi pergerakan sistem pada sumbu

pitch. Sedangkan dua buah LDR yaitu utara dan selatan akan mempengaruhi pergerakan sistem pada sumbu *yaw*. Nilai *error* dan *deltaerror* didefinisikan seperti pada tabel 3.6.

Kemudian dilakukan proses penentuan fungsi keanggotaan fuzzy dan jumlah keanggotaan fuzzy masukan. Jumlah keanggotaan fuzzy yang digunakan yaitu 5 yang terdiri dari bentuk fungsi keanggotaan trapesium dan fungsi keanggotaan segitiga. Bentuk interval fungsi keanggotaan dari input sistem adalah sebagai berikut.



Gambar 3. 9 Fungsi keanggotaan *fuzzy input error*



Gambar 3. 10 Fungsi keanggotaan *fuzzy input deltaerror*

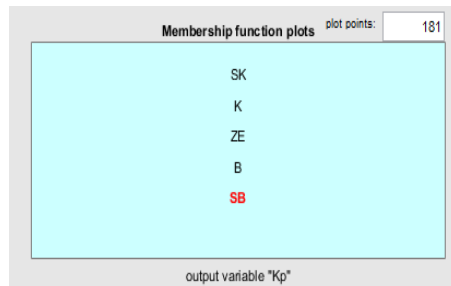
Nilai parameter variabel *input error* tegangan LDR,

NB : [-0.5 -0.5 -0.375 -0.1875]

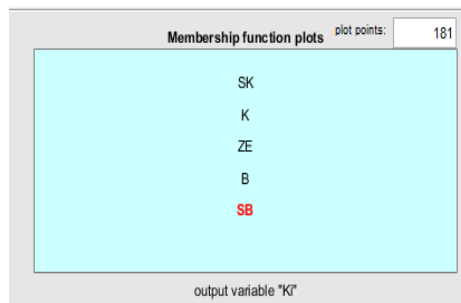
NS : [-0.375 -0.1875 0]

Z : [-0.1875 0 0.1875]
 PS : [0 0.1875 0.375]
 PB : [0.1875 0.375 0.5 0.5]
 Nilai parameter variabel *input deltaerror* tegangan LDR,
 NB : [-0.5 -0.5 -0.375 -0.1875]
 NS : [-0.375 -0.1875 0]
 Z : [-0.1875 0 0.1875]
 PS : [0 0.1875 0.375]
 PB : [0.1875 0.375 0.5 0.5]

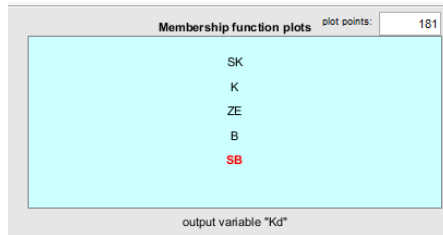
Nilai *range membership function* yang digunakan pada sudut *pitch* dan *yaw* yaitu dari nilai -0,5 sampai 0,5. Fungsi keanggotaan yang telah dipetakan, kemudian ditentukan *output* dari logika fuzzy yang digunakan. Nilai *output* yang digunakan dalam sistem ini yaitu berupa nilai Kp, Ki, dan Kd. Untuk *output* nilai Kp, Ki, Kd sebagai berikut,



Gambar 3. 11 Defuzzifikasi nilai Kp



Gambar 3. 12 Defuzzifikasi nilai Ki



Gambar 3. 13 Defuzzifikasi nilai Kd

Pada sistem ini menggunakan rule base berjumlah 25 untuk 5 MF karena memiliki dua masukan yaitu *error* dan *deltaerror* dimana masing – masing masukan berisi 5 MF pada fuzzifikasi dan 5 MF pada defuzzifikasi.

Tabel 3. 9 Rule Base

delta error \ Error	N B	NS	Z	PS	PB
NB	SK	SK	K	K	ZE
NS	SK	K	K	ZE	B
Z	K	K	ZE	B	B
PS	K	ZE	B	B	SB
PB	ZE	B	B	SB	SB

Kemudian dilakukan pemrograman pada mikrokontroler Arduino Mega 2560 dengan menggunakan *software* ArduinoIDE seperti pada gambar berikut,

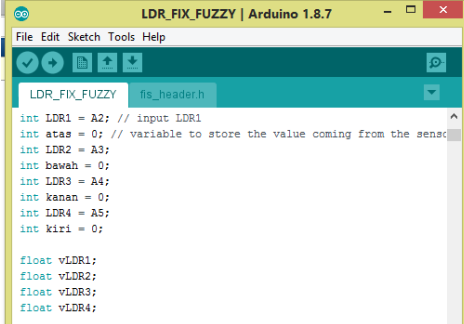
```

LDR_FIX_FUZZY | Arduino 1.8.7
File Edit Sketch Tools Help
LDR_FIX_FUZZY | @s_header.h
unsigned long time;
long lastReadingLog = 0;
float readingInterval = 2000;

#define Dir1      3           // INA motor pin BAWAH
#define Dir2      4           // INB motor pin
#define Dir3      9           // INA motor pin ATAS
#define Dir4      10          // INB motor pin

```

Gambar 3. 14 Inisialisasi port motor driver L298N



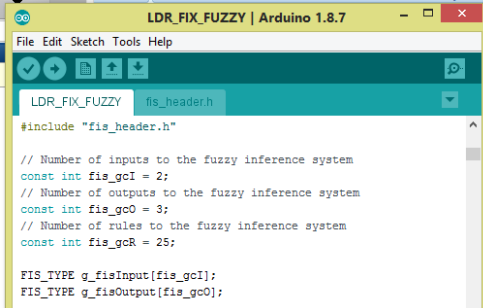
```

LDR_FIX_FUZZY | fis_header.h
int LDR1 = A2; // input LDR1
int atas = 0; // variable to store the value coming from the sensor
int LDR2 = A3;
int bawah = 0;
int LDR3 = A4;
int kanan = 0;
int LDR4 = A5;
int kiri = 0;

float vLDR1;
float vLDR2;
float vLDR3;
float vLDR4;

```

Gambar 3. 15 Inisialisasi port sensor LDR



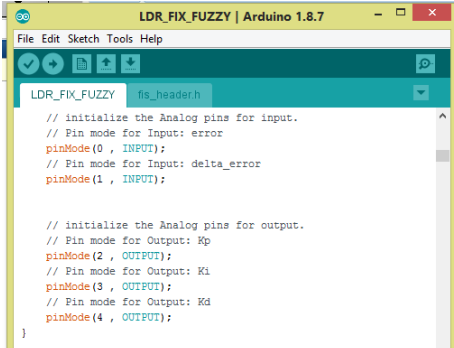
```

LDR_FIX_FUZZY | fis_header.h
#include "fis_header.h"

// Number of inputs to the fuzzy inference system
const int fis_gcI = 2;
// Number of outputs to the fuzzy inference system
const int fis_gcO = 3;
// Number of rules to the fuzzy inference system
const int fis_gcR = 25;

FIS_TYPE g_fisInput[fis_gcI];
FIS_TYPE g_fisOutput[fis_gcO];

```

Gambar 3. 16 Inisialisasi *fuzzy inference system (FIS)*


```

LDR_FIX_FUZZY | fis_header.h
// initialize the Analog pins for input.
// Pin mode for Input: error
pinMode(0, INPUT);
// Pin mode for Input: delta_error
pinMode(1, INPUT);

// initialize the Analog pins for output.
// Pin mode for Output: Kp
pinMode(2, OUTPUT);
// Pin mode for Output: Ki
pinMode(3, OUTPUT);
// Pin mode for Output: Kd
pinMode(4, OUTPUT);
}

```

Gambar 3. 17 Inisialisasi variabel *input output FIS*

Kemudian setelah semuanya selesai dikerjakan mulai dari realisasi subsistem mekanik, realisasi subsistem elektrik, perancangan sistem kontrol *fuzzy pid controller*, dan pemrograman pada mikrokontroler arduino mega 2560 dengan bantuan *software* ArduinoIDE menggunakan bahasa C, lalu dilakukan integrasi untuk kesemuanya seperti yang bisa dilihat pada gambar 3.18. Setelah semuanya sudah terintegrasi maka dilanjutkan dengan melakukan uji coba pada prototype yang telah dibuat.



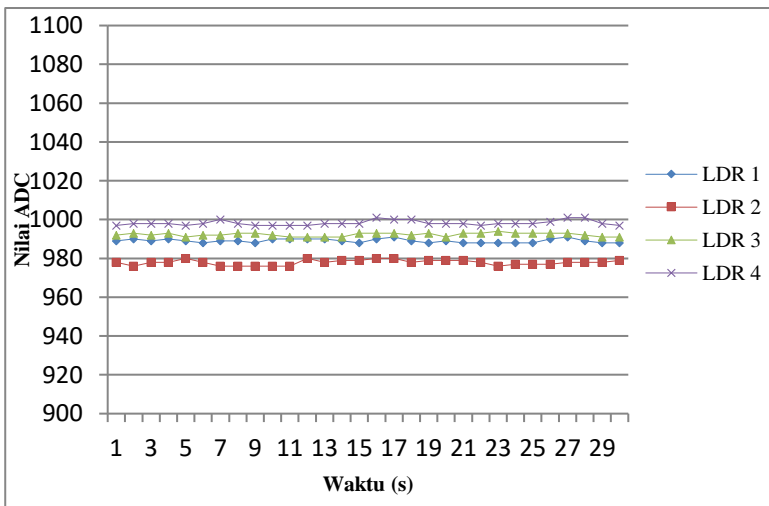
Gambar 3. 18 *Prototype active solar tracker*

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada bab ini akan dibahas mengenai hasil dari beberapa pengujian / pengambilan data yang telah dilakukan antara lain adalah pengujian sensor LDR, pengujian sensor arus ACS 712, pengujian sensor tegangan, pengujian performansi PV, uji *set point* kontrol *fuzzy PID*, pengujian sistem kontrol pada *prototype*, pengujian sistem *charging* baterai, pengujian sistem *discharge* baterai.

4.1 Hasil Pengujian Sensor LDR

Pengujian sensor LDR dilakukan dengan tujuan mengetahui nilai dari pembacaan masing – masing LDR yang digunakan. Kemudian dipilih 4 buah sensor LDR yang memiliki nilai ADC yang hampir sama dengan kondisi input yang sama yang nantinya akan digunakan pada penelitian ini. Sensor LDR yang sudah dipilih diletakkan pada posisi yang saling berhadapan yaitu utara, selatan, barat dan timur dan kemudian diberi sekat.



Gambar 4. 1 Pengujian sensor LDR

Berdasarkan data pengujian LDR yang telah dilakukan didapatkan 4 buah LDR yang digunakan pada penelitian tugas akhir ini dengan kondisi *input* yang sama didapatkan *output* keempat LDR memiliki nilai ADC yang hampir mendekati sekitar 980. Dari hasil pengujian sensor LDR dipilih 4 LDR yang akan digunakan yang memiliki nilai yang tidak jauh berbeda. Hasil pengujian nilai ADC pada masing – masing LDR terdapat pada grafik di atas. Hal ini dimaksudkan agar respon dari sensor diharapkan memiliki nilai yang sama ketika terkena oleh sebuah *input* yang memiliki nilai sama.

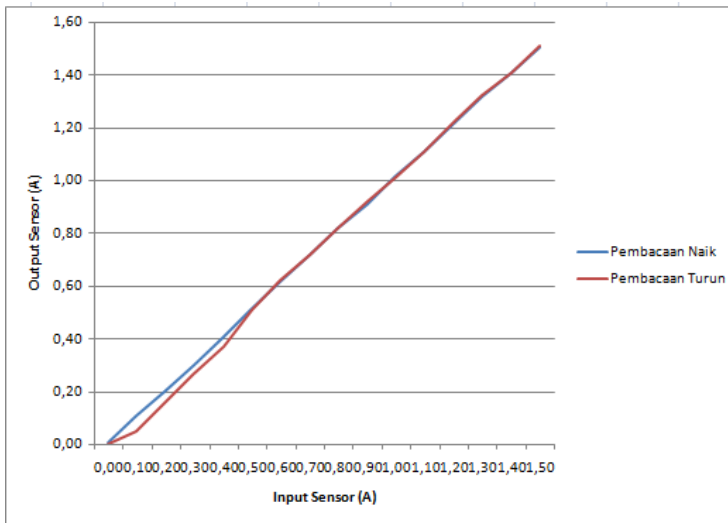
4.2 Hasil Uji Sensor Arus ACS712

Digunakan modul *ACS712-20A* yang merupakan sensor arus pada penelitian tugas akhir kali ini. Modul sensor tipe ini menggunakan *input* berupa arus listrik dan memiliki *output* berupa arus juga. Dilakukan pengujian sensor ini bertujuan untuk memastikan serta menjamin kelayakan dari sensor yang digunakan. Yaitu untuk mengetahui hubungan *input-output* sensor *ACS712-20A* dengan cara memberikan nilai *input* naik serta nilai *input* turun secara bergantian dengan merekam setiap *output* yang dihasilkan. Hasil rekaman setiap *output* diplot ke dalam *chart* dan dihitung berapa besar nilai penyimpangan yang dihasilkan. Adapun indikator karakteristik statik yang ditentukan dalam pengujian kali ini adalah histerisis dan linearitas. Histerisis adalah faktor penyimpangan dari *output* sensor ketika sensor diberikan *input* dengan nilai yang sama baik dalam kondisi *input* naik maupun kondisi *input* turun. Secara matematis histerisis dapat di rumuskan sebagai perbandingan antara nilai naik dan nilai turun dibandingkan dengan selisih nilai *output* maksimum dan nilai *output* minimum. Dalam pengaplikasiannya histerisis dalam suatu alat diterangkan dalam satuan persen.

Sedangkan linieritas adalah sifat hubungan yang linier antar variabel, baik variabel *input* maupun variabel *output*. Tingkat linieritas secara matematis menggambarkan bagaimana suatu sensor memiliki nilai yang sama dengan set point yang dilakukan.

Semakin kecil linearitas yang dihasilkan maka akan semakin baik respon dari sensor tersebut.

Setelah dilakukan pengambilan data didapatkan grafik hasil uji naik dan uji turun dari sensor *ACS712-20A* seperti yang ditunjukkan pada gambar 4.2.

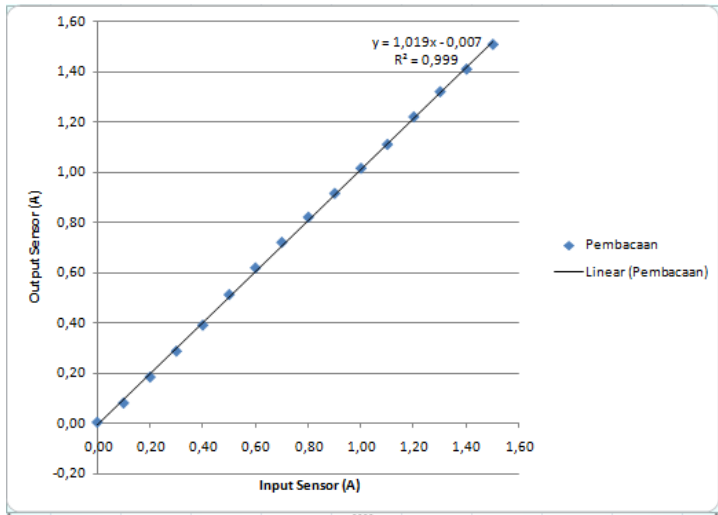


Gambar 4. 2 Pembacaan naik dan turun pengujian sensor arus

Berdasarkan hasil pengambilan data yang terdapat pada lampiran diperoleh histerisis maksimum terjadi pada saat arus masukan sebesar 0,1A dengan selisih pembacaan uji naik dan uji turun sensor sebesar 0,06A. Sedangkan untuk hasil karakteristik linearitas digambarkan pada gambar 4.3. Maka diperoleh nilai histerisis sebesar 5%.

Setelah dilakukan uji sensor arus *ACS712*, maka langkah selanjutnya adalah melakukan kalibrasi. Kalibrasi adalah membandingkan alat ukur uji dengan alat ukur yang telah memenuhi kriteria standart. Dalam penelitian kali ini sensor arus dikalibrasi dengan DC power suply yang bertindak sebagai alat standar dan *output* dari sensor arus tersebut dikomparasikan.

Parameter kalibrasi yang dihitung pada penelitian kali ini adalah ketidakpastian yang bersumber dari pengukuran berulang (tipeA) dengan mengabaikan ketidakpastian sumber selain pengukuran (tipeB). Adapun pengertian ketidakpastian pengukuran adalah sebuah rentang nilai dimana nilai sebenarnya dari sebuah pengukuran tersebut diperkirakan berada.



Gambar 4. 3 Linearitas Pengujian Sensor Arus

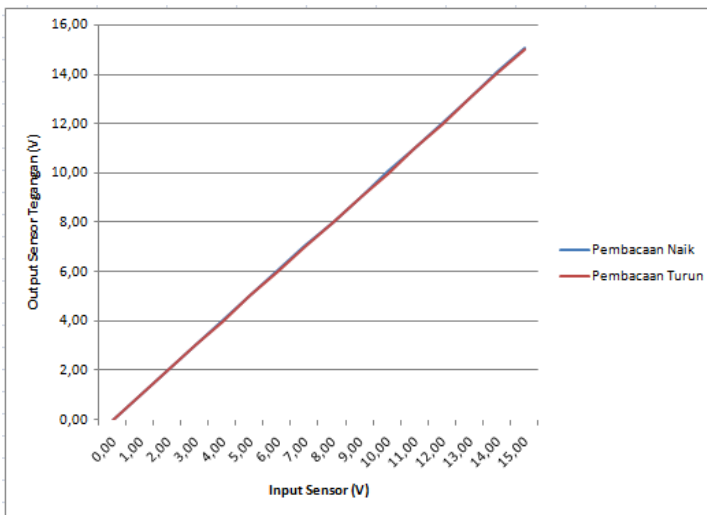
Dari hasil uji kalibrasi yang dilakukan, sebagaimana terlampir pada lampiran didapatkan hasil ketidakpastian terbesar berada pada titik ukur 0,8A dengan nilai sebesar 0,00335. Pada titik ukur tersebut diperoleh pembacaan rata-rata sebesar 0,82A dan standard deviasi sebesar 0,0134. Sehingga dapat kita simpulkan bahwa hasil pengukuran sesungguhnya sensor ACS712 adalah $0,82 \pm 0,0134$ A dengan batas bawah sensor tersebut sebesar 0,8166 A dan batas atas sebesar 0,8334 A.

4.3 Hasil Uji Sensor Tegangan

Digunakan modul sensor tegangan 25 V pada penelitian yang dilakukan kali ini. Modul sensor tipe ini menggunakan *input*

berupa tegangan listrik dan memiliki *output* berupa tegangan. Dilakukan pengujian sensor bertujuan untuk memastikan serta menjamin kelayakan dari sensor yang digunakan. Dalam hal ini dimaksudkan untuk mengetahui hubungan *input-output* sensor tegangan 25V dengan cara memberikan *input* naik serta *input* turun secara bergantian dengan merekam setiap *output* yang dihasilkan. Hasil rekaman setiap *output* diplot ke dalam *chart* dan dihitung berapa besar nilai penyimpangan yang dihasilkan. Adapun indikator karakteristik statik yang ditentukan dalam pengujian kali ini adalah histerisis dan linearitas.

Setelah dilakukan pengambilan data didapatkan grafik hasil uji naik dan uji turun dari sensor tegangan 25V seperti yang ditunjukkan pada gambar 4.4.

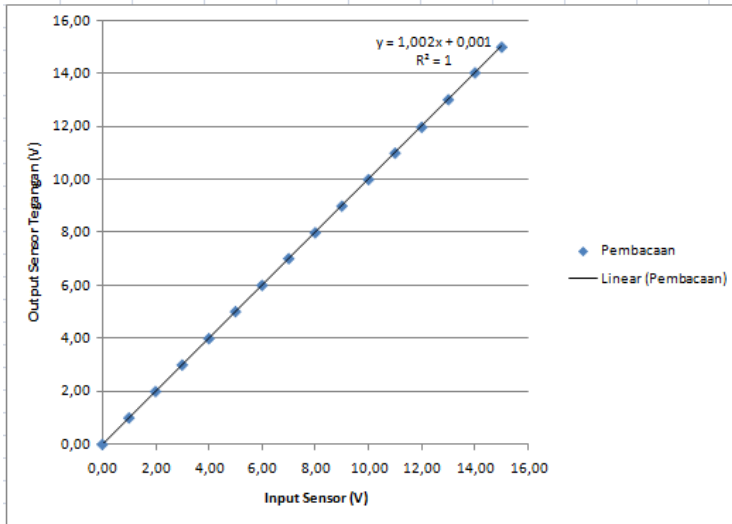


Gambar 4. 4 Pembacaan naik dan turun pengujian sensor tegangan

Berdasarkan hasil pengambilan data yang terdapat pada lampiran diperoleh histerisis maksimum terjadi pada saat arus masukan sebesar 13 V dengan selisih pembacaan uji naik dan uji

turun sensor sebesar 0,04 V. Maka didapatkan nilai histerisisnya sebesar 1%.

Sedangkan untuk hasil karakteristik linearitas digambarkan pada grafik seperti yang ditunjukkan pada gambar 4.5.



Gambar 4. 5 Linearitas Pengujian Sensor Tegangan

Setelah dilakukan uji sensor tegangan 25V, maka langkah selanjutnya adalah melakukan kalibrasi. Kalibrasi adalah membandingkan alat ukur uji dengan alat ukur yang telah memenuhi kriteria standart. Dalam penelitian kali ini sensor tegangan 25 V dikalibrasi dengan DC *power suply* yang bertindak sebagai alat standar dan *output* dari sensor arus tersebut dikomparasikan. Parameter kalibrasi yang dihitung pada penelitian kali ini adalah ketidakpastian yang bersumber dari pengukuran berulang (tipeA) dengan mengabaikan ketidakpastian sumber selain pengukuran (tipeB). Adapun pengertian ketidakpastian pengukuran adalah sebuah rentang nilai dimana nilai sebenarnya dari sebuah pengukuran tersebut diperkirakan berada.

Dari hasil uji kalibrasi yang dilakukan, sebagaimana terlampir pada lampiran didapatkan hasil ketidakpastian terbesar berada pada titik ukur 4 V dengan nilai sebesar 0,005477. Pada titik ukur tersebut diperoleh pembacaan rata-rata sebesar 4,01 V dan standard deviasi sebesar 0,0219. Sehingga dapat kita simpulkan bahwa hasil pengukuran sesungguhnya sensor tegangan 25 V adalah $4 \pm 0,0219V$ dengan batas bawah sensor tersebut sebesar 3,9781 V dan batas atas sebesar 4,0219 V.

4.4 Hasil Uji Karakteristik PV

Pada penelitian tugas akhir ini menggunakan *photovoltaic* 100 WP. Sebelum digunakan sebagai penelitian tugas akhir *photovoltaic* tersebut harus diuji terlebih dahulu. Dilakukan pengujian karakteristik *photovoltaic* pada penelitian tugas akhir ini bertujuan untuk mengetahui karakteristik dari *photovoltaic* yang digunakan sudah sesuai dengan datasheet dari *photovoltaic* itu sendiri. Sehingga nantinya data yang didapatkan dari penggunaan *photovoltaic* pada penelitian tugas akhir ini dapat dikatakan valid.

Pengujian karakteristik PV ini dilakukan di Venus Teknik Fisika ITS pada pukul 06.00 WIB – 17.00 WIB. Terdapat 2 nilai variabel yang didapatkan yaitu nilai *input* dan *output*. Nilai *input* dari *photovoltaic* sendiri yang digunakan ada dua yaitu nilai irradiasi dan nilai suhu / temperatur pada permukaan *photovoltaic*. Sedangkan nilai *ouputnya* ada 3 yaitu tegangan, arus dan daya. Data pengujian dari karakteristik yang telah didapatkan adalah sebagai berikut.

Tabel 4. 1 Data hasil uji karakteristik *photovoltaic*

Waktu (WIB)	Input		Output		
	Irradiasi (watt/m ²)	Suhu (°C)	Tegangan (V)	Arus (A)	Daya (watt)
06.00	299,2	37	19,00	2,00	38,00
07.00	383,7	40	19,50	2,28	44,46
08.00	477,8	43	19,40	2,49	48,24
09.00	756,8	45	19,30	3,62	69,80

Tabel 4. Data hasil uji karakteristik *photovoltaic* (lanjutan)

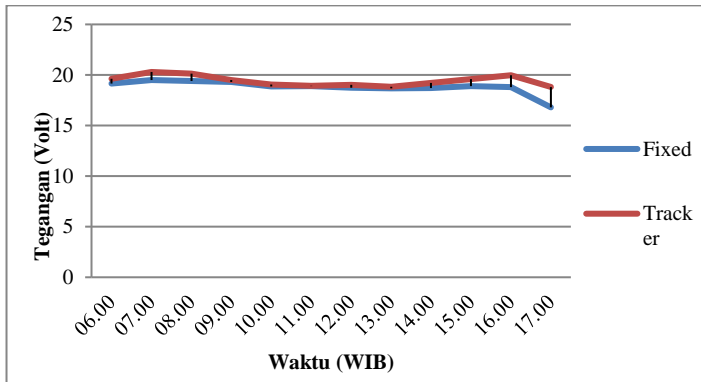
10.00	854,2	47	18,87	3,81	71,83
11.00	944,2	59	18,91	4,35	82,20
12.00	945,5	51	18,75	4,32	80,99
13.00	877,8	49	18,67	4,11	76,73
14.00	643,4	49	18,70	2,99	55,91
15.00	475,6	43	18,90	2,31	43,66
16.00	236,7	37	18,80	1,05	19,80
17.00	135,1	34	16,80	0,67	11,26

Berdasarkan data hasil pengujian karakteristik photovoltaic 100 WP dapat disimpulkan bahwa photovoltaic yang digunakan dalam penelitian tugas akhir ini sudah sesuai spesifikasi dari photovoltaic 100 WP *ST-Solar*. Sehingga data yang dihasilkan oleh photovoltaic 100 WP *ST-Solar* ini dapat dikatakan valid.

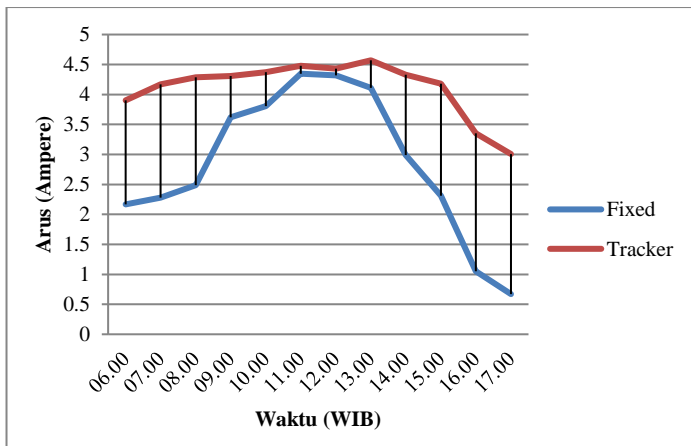
4.5 Hasil Pengujian *Fuzzy PID Active Dual Axis Solar Tracker*

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui daya yang dihasilkan oleh PV dengan menggunakan sistem *Fuzzy PID Active Dual Axis Solar Tracker*. Pengambilan data ini dilakukan dengan meletakkan prototipe di Venus Teknik Fisika ITS dan dengan inputan dari intensitas cahaya matahari. Pengambilan data ini dilakukan mulai pukul 06.00 WIB – 17.00 WIB. Pengambilan data ini dilakukan dengan selang waktu selama per 1 jam. *Dual Axis Solar Tracker* ini bergerak secara otomatis mengikuti arah datangnya cahaya matahari dengan menggunakan 4 sensor LDR yang telah terpasang pada prototipe dan sudah terdapat program didalam mikrokontroler Arduino Mega2560 yang digunakan. Saat pengambilan data tidak terjadi bayangan yang jatuh pada PV. Kondisi lingkungan saat pengambilan data cerah berawan. Maka dari itu dapat diperoleh data keluaran berupa tegangan, arus dan daya dari PV. Pengujian performansi *photovoltaic* pada penelitian tugas akhir ini guna untuk mengetahui efisiensi energi yang dihasilkan oleh *photovoltaic* (PV). Pengujian performansi dilakukan dengan cara membandingkan nilai *output* berupa daya

PV yang ditempatkan pada *tracker* dan *fix based*. Untuk memperoleh *output* daya PV diperlukan dua variabel, yaitu besar nilai tegangan dan arus yang dihasilkan oleh PV. Pengujian ini dilakukan selama 11 jam dengan keadaan langit cerah dan dengan sampling pengambilan selama 1 jam. Pemilihan waktu sampling didasarkan pada pergerakan posisi matahari yang mengalami perubahan signifikan pada rentang 1 jam.



Gambar 4. 6 Grafik Perbandingan output tegangan PV



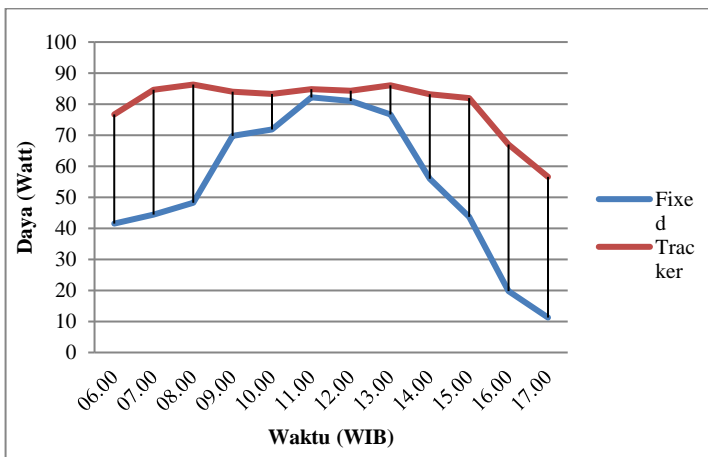
Gambar 4. 7 Grafik perbandingan output arus PV

Berdasarkan Gambar 4.6 terlihat bahwa *output* yang dihasilkan oleh pv yang digunakan pada *fix based* dan solar tracker memiliki trend yang sedikit berbeda. Perubahan tegangan kedua PV memiliki respon yang konsisten terhadap perubahan lingkungan. Adapun hasil simpangan terbesar dari grafik tersebut sebesar 2,0167V yang terjadi pada pukul 17.00 WIB.

Sedangkan untuk uji performansi arus PV ditunjukkan dengan grafik seperti gambar 4.7. Berdasarkan grafik diatas diperoleh nilai simpangan terbesar sebesar 2,33 A yang terjadi pada titik ukur pukul 17.00 WIB.

Pengujian yang terakhir adalah pengujian performansi daya yang dihasilkan oleh *photovoltaic*. Nilai *output* daya diperoleh dari perkalian antara nilai tegangan yang dihasilkan dengan nilai arus pada waktu yang sama. Dari grafik yang disajikan pada gambar 4.8 diperoleh daya maksimal PV terjadi pada pukul 11.00 WIB dengan daya maksimum untuk PV yang digunakan pada *fix based* sebesar 82,1 watt serta pada pukul 13.00 WIB untuk PV yang digunakan pada tracker sebesar 86,3 Watt.

Dari hasil yang diperoleh maka dapat kita simpulkan bahwa performansi PV yang digunakan pada *tracker* lebih besar dibandingkan dengan PV yang digunakan pada *fixbased*.



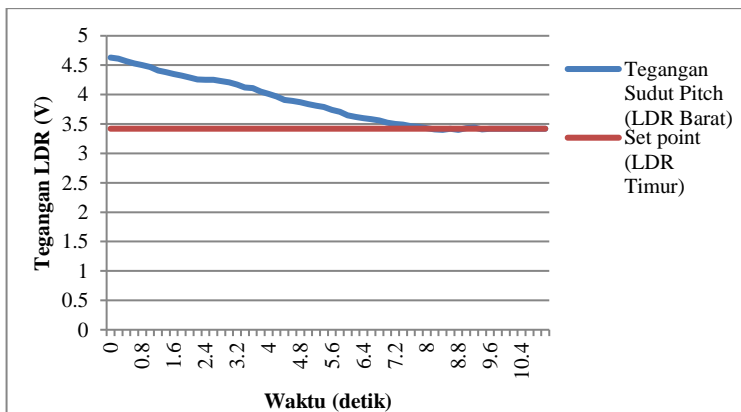
Gambar 4. 8 Grafik perbandingan output daya PV

Berdasarkan data pengukuran yang didapatkan nilai besar energi yang dihasilkan oleh fixed panel sebesar 646,4 Joule. Sedangkan nilai energi yang dihasilkan oleh tracker sebesar 958,7 Joule.

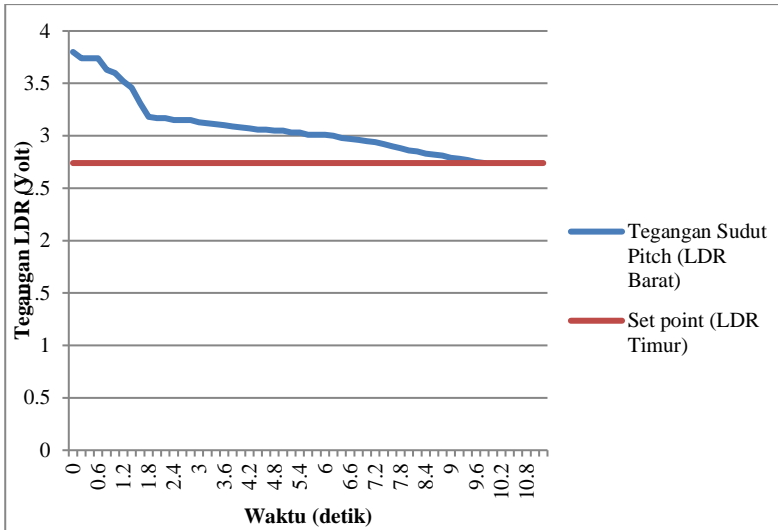
Berdasarkan grafik pada gambar 4.8 perbandingan daya tersebut, didapatkan nilai efisiensi dari PV *tracker* lebih besar dibandingkan dengan PV *fixed* sebesar 48,3 %. Besarnya efisiensi didapatkan dari besarnya energi yang dihasilkan oleh PV *tracker* dikurangi dengan energi yang dihasilkan oleh PV *fixed* dibagi dengan energi dari PV *fixed* itu sendiri. Sehingga dapat dikatakan PV *tracker* memiliki nilai efisiensi yang lebih tinggi dibandingkan dengan PV *fixed*.

4.6 Uji *Set Point* Kontrol Fuzzy dan Fuzzy PID

Pengujian *set point* pada penelitian tugas akhir dilakukan untuk melihat respon kontrol yang telah dibuat terhadap *set point* yang diinginkan. Pada uji *set point* ini dilakukan dua kali uji, yaitu untuk sudut *pitch* dan sudut *yaw*. Pada uji *set point* sumbu *pitch*, pengambilan data dilakukan dengan cara memfungsikan LDR Barat sebagai *set point*. LDR Timur difungsikan sebagai sensor variabel proses yang nantinya akan mempresentasikan posisi PV terhadap matahari.



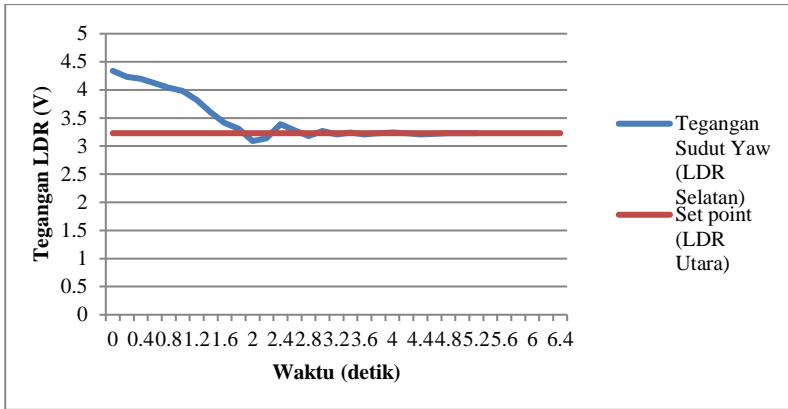
Gambar 4. 9 Respon uji setpoint sudut *pitch* kontrol Fuzzy PID



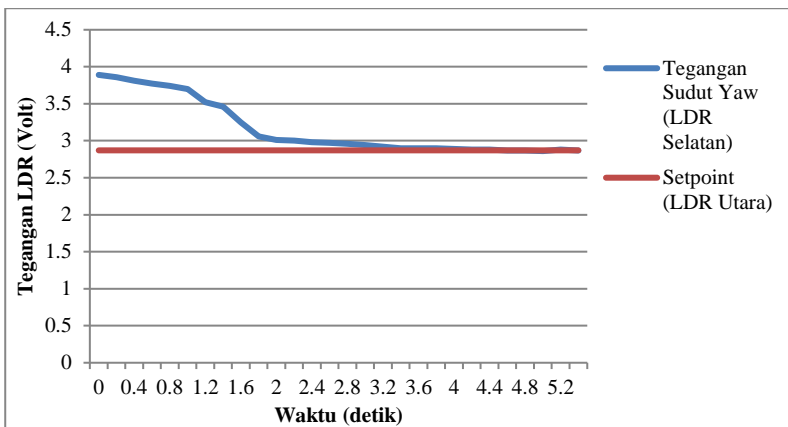
Gambar 4. 10 Respon uji *setpoint* sudut *pitch* kontrol Fuzzy

Gambar 4.9 dan gambar 4.10 menerangkan tentang grafik respon yang dihasilkan oleh gerak motor *pitch* akibat adanya perubahan *error* dan *delta error* tegangan LDR terhadap perubahan sudut *set point*. Berdasarkan grafik diatas LDR barat yang difungsikan sebagai variabel proses lambat laun memiliki nilai yang sama dengan LDR timur yang difungsikan sebagai *set point*

Pada uji *set point* sumbu *yaw*, pengambilan data dilakukan dengan cara memfungsikan LDR utara sebagai *set point*. LDR selatan difungsikan sebagai sensor variabel proses yang nantinya akan mempresentasikan posisi *photovoltaic* terhadap posisi matahari. Gambar 4.11 dan gambar 4.12 menerangkan tentang grafik respon yang dihasilkan oleh gerak motor *yaw* akibat adanya perubahan *error* dan *deltaerror* tegangan LDR terhadap perubahan sudut *set point*. Berdasarkan grafik tersebut LDR selatan yang difungsikan sebagai variabel proses lambat laun memiliki nilai yang sama dengan LDR utara yang difungsikan sebagai *set point*.



Gambar 4. 11 Respon uji *setpoint* sudut yaw kontrol Fuzzy PID



Gambar 4. 12 Respon uji *setpoint* sudut yaw kontrol Fuzzy PID

Berdasarkan tabel performansi uji *set point* pada sudut *pitch* memiliki *error steady state* (Ess) sebesar 0,2% untuk kontrol fuzzy PID dan 0,12% untuk kontrol fuzzy, sedangkan pada sudut *yaw* memiliki Ess sebesar 0,4% untuk kontrol fuzzy PID dan 0,15% untuk kontrol fuzzy. Sehingga dari hasil uji *set point* ini dapat kita simpulkan bahwa kontrol Fuzzy PID pada eksperimen ini berjalan dengan baik karena nilai Ess kurang dari 5%

Tabel 4. 2 Indeks performansi uji setpoint

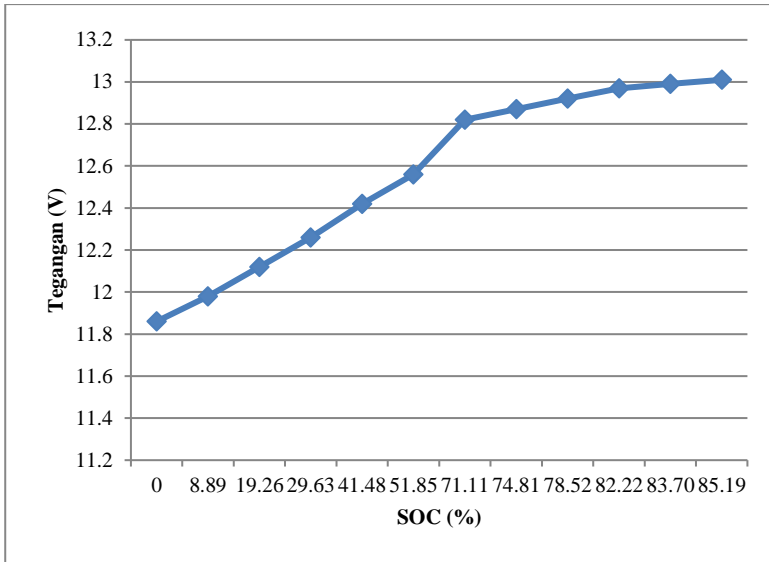
Parameter	Tegangan LDR Posisi <i>Pitch</i>		Tegangan LDR Posisi <i>Yaw</i>	
	Fuzzy PID	Fuzzy	Fuzzy PID	Fuzzy
<i>Rise Time</i> (detik)	8,2	9,8	3,6	4,6
<i>Settling Time</i> (detik)	9,6	11,2	4,8	5,4
<i>MoV</i> (%)	0,02	0,001	0,04	0,002
<i>Ess</i> (%)	0,2	0,12	0,4	0,15

4.7 Estimasi *State Of Charge (SOC) Dual Axis Solar Tracker*

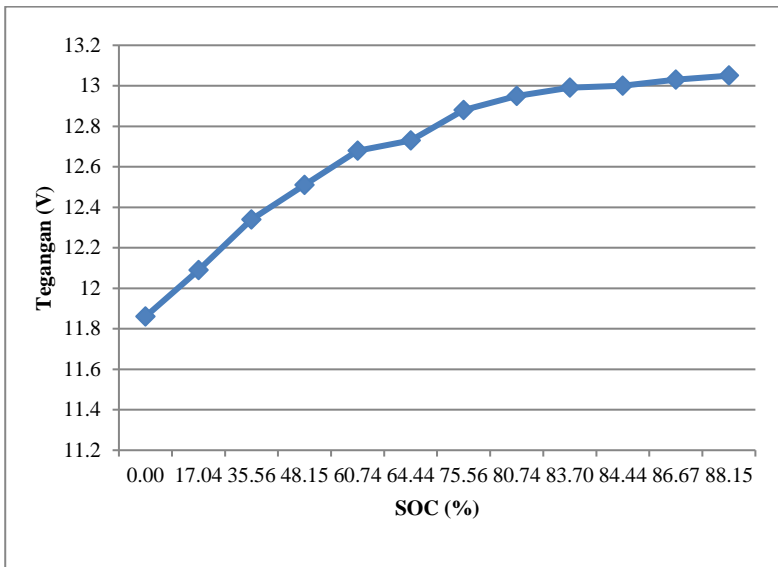
Pada perhitungan *State Of Charge* pada baterai digunakan estimasi. Nilai minimum 0% pada baterai setara dengan tegangan yang ada pada baterai sebesar 11,86 V. Nilai ini didapatkan dengan menghabiskan energi yang ada dalam baterai dengan cara menghubungkannya pada beban lampu jalan LED sebesar 50 watt. Nilai tegangan 11,86 V didapatkan dari nilai tegangan yang ada pada baterai ketika baterai sudah tidak bisa menyalakan lampu yang dipasang/ dengan kata lain ketika lampu mati. Oleh karena itu diasumsikan bahwa nilai kondisi baterai saat 0% yaitu setara dengan tegangan baterai saat bernilai 11,86 V.

Sedangkan nilai maksimum 100% pada baterai setara dengan tegangan yang ada pada baterai sebesar 13,21 V. Nilai ini didapatkan dengan mengisi energi pada baterai dengan menggunakan *photovoltaic* sampai penuh. Nilai tegangan 13,21 V didapatkan dari dimana pada saat pengisian baterai, arus yang mengalir ke baterai hampir mendekati nilai 0. Pengukuran nilai arus menggunakan sensor arus ACS712. Oleh karena itu diasumsikan bahwa nilai kondisi baterai saat 100% yaitu setara dengan tegangan baterai saat bernilai 13,21 V karena arus sudah tidak mengalir lagi ke dalam baterai.

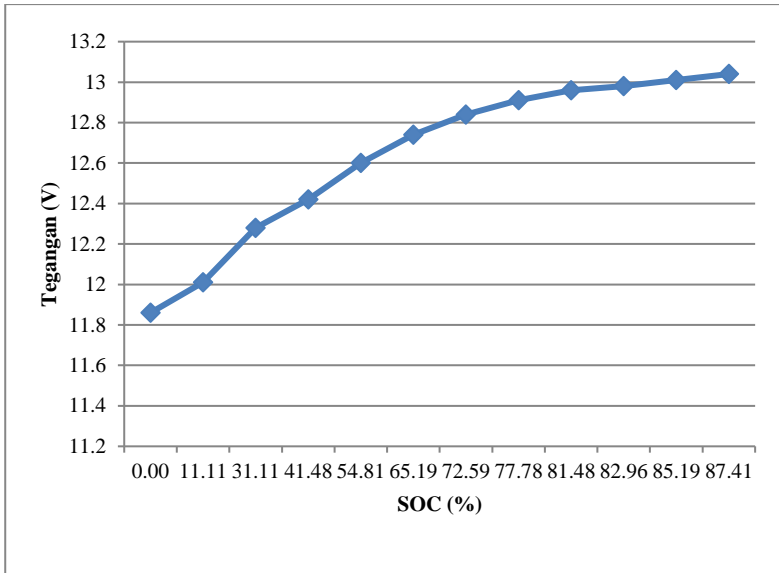
Pada penelitian ini dilakukan 3 kali percobaan untuk mengetahui nilai *SOC (state of charge)* dari baterai yang digunakan. Berikut hasil perhitungan *SOC (state of charge)* dari baterai yang digunakan.



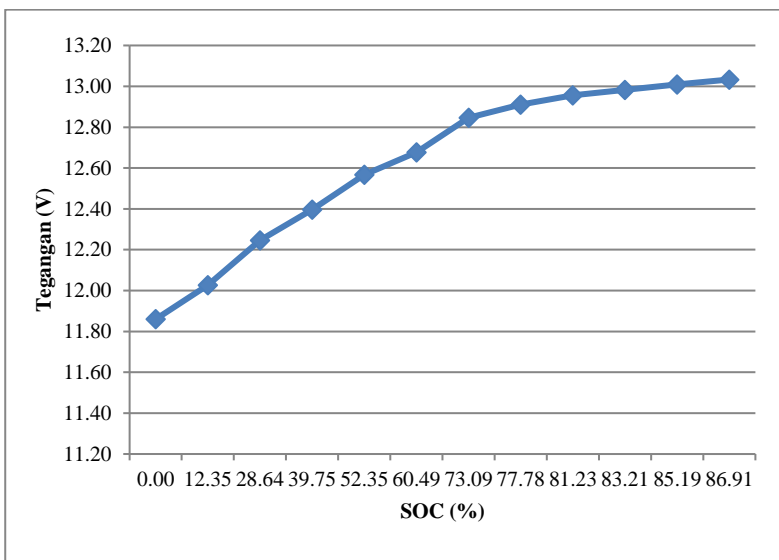
Gambar 4. 13 SOC tracker percobaan 1



Gambar 4. 14 SOC tracker percobaan 2



Gambar 4. 15 SOC tracker percobaan 3



Gambar 4. 16 SOC tracker rata – rata

Berdasarkan grafik yang didapatkan nilai minimum SOC pada percobaan 1 sebesar 0% pada tegangan 11,86 V dan nilai maksimumnya sebesar 85,19% pada tegangan 13,01 V. Nilai minimum pada percobaan 2 sebesar 0% pada tegangan 11,86 V dan nilai maksimumnya sebesar 88,15% pada tegangan 13,05 V. Nilai minimum pada percobaan 3 sebesar 0% pada tegangan 11,86 V dan nilai maksimumnya sebesar 87,41% pada tegangan 13,04 V. Dan nilai minimum rata - rata sebesar 0% pada tegangan 11,86 V dan nilai maksimumnya sebesar 86,91% pada tegangan 13,03 V.

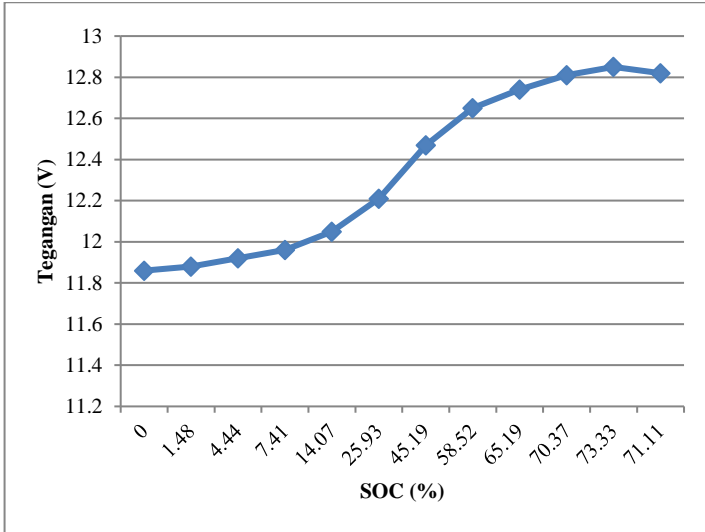
4.8 Estimasi *State Of Charge (SOC) Fixed Panel*

Pada perhitungan *State Of Charge* pada baterai digunakan estimasi. Nilai minimum 0% pada baterai setara dengan tegangan yang ada pada baterai sebesar 11,86 V. Nilai ini didapatkan dengan menghabiskan energi yang ada dalam baterai dengan cara menghubungkannya pada beban lampu jalan LED sebesar 50 watt. Nilai tegangan 11,86 V didapatkan dari nilai tegangan yang ada pada baterai ketika baterai sudah tidak bisa menyalakan lampu yang dipasang/ dengan kata lain ketika lampu mati. Oleh karena itu diasumsikan bahwa nilai kondisi baterai saat 0% yaitu setara dengan tegangan baterai saat bernilai 11,86 V.

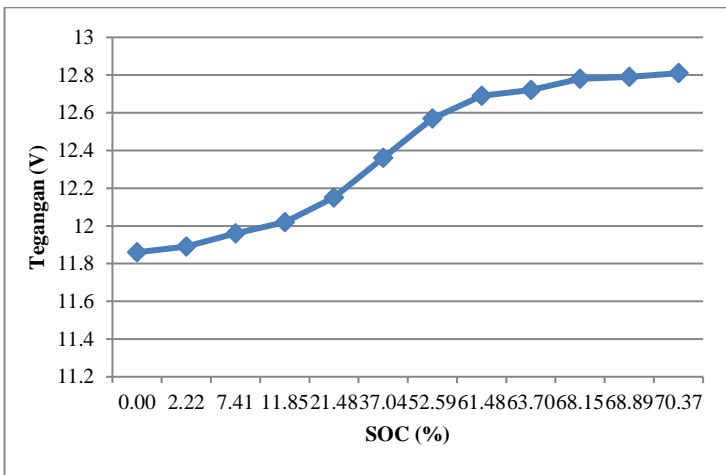
Sedangkan nilai maksimum 100% pada baterai setara dengan tegangan yang ada pada baterai sebesar 13,21 V. Nilai ini didapatkan dengan mengisi energi pada baterai dengan menggunakan *photovoltaic* sampai penuh. Nilai tegangan 13,21 V didapatkan dari dimana pada saat pengisian baterai, arus yang mengalir ke baterai hampir mendekati nilai 0. Pengukuran nilai arus menggunakan sensor arus ACS712. Oleh karena itu diasumsikan bahwa nilai kondisi baterai saat 100% yaitu setara dengan tegangan baterai saat bernilai 13,21 V karena arus sudah tidak mengalir lagi ke dalam baterai.

Pada penelitian ini dilakukan 3 kali percobaan untuk mengetahui nilai *SOC (state of charge)* dari baterai yang

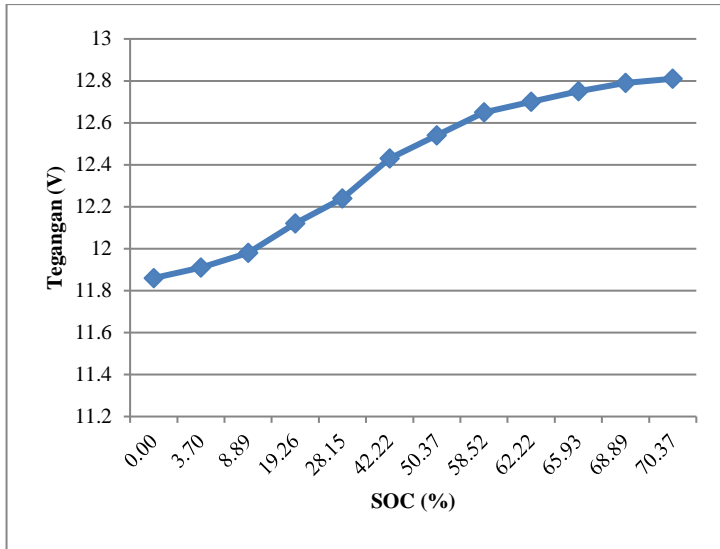
digunakan. Berikut hasil perhitungan *SOC (state of charge)* dari baterai yang digunakan.



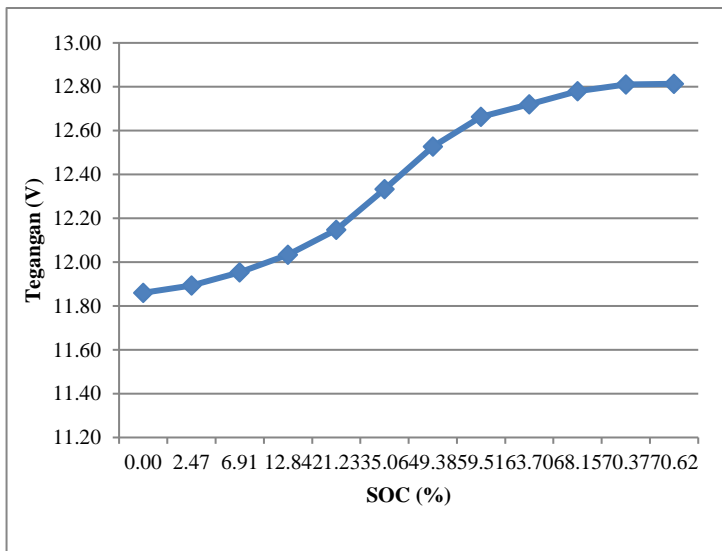
Gambar 4. 17 SOC fixed percobaan 1



Gambar 4. 18 SOC fixed percobaan 2



Gambar 4. 19 SOC fixed percobaan 3



Gambar 4. 20 SOC fixed rata – rata

Berdasarkan grafik yang didapatkan nilai minimum SOC pada percobaan 1 sebesar 0% pada tegangan 11,86 V dan nilai maksimumnya sebesar 71,11% pada tegangan 12,82 V. Nilai minimum pada percobaan 2 sebesar 0% pada tegangan 11,86 V dan nilai maksimumnya sebesar 70,37% pada tegangan 12,81 V. Nilai minimum pada percobaan 3 sebesar 0% pada tegangan 11,86 V dan nilai maksimumnya sebesar 70,37% pada tegangan 12,81 V. Dan nilai minimum rata - rata sebesar 0% pada tegangan 11,86 V dan nilai maksimumnya sebesar 70,62% pada tegangan 12,81 V.

4.9 Waktu Discharge Baterai Dengan Penggunaan Beban Lampu LED 50 Watt

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui berapa lama lampu dapat menyala dan digunakan sebagai penerangan jalan. Dengan menggunakan energi yang telah disimpan baterai dengan sumber energi photovoltaic. Penyimpanan dalam baterai berlangsung dalam waktu 11 jam mulai pukul 06.00 WIB – 17.00 WIB. Kemudian pada pukul 18.00 WIB energi yang telah tersimpan didalam baterai digunakan untuk menyalakan lampu penerangan jalan LED dengan daya 50 watt. Baterai dengan tegangan DC 12 Volt disambungkan dengan inverter agar menghasilkan tegangan AC 220 Volt yang nantinya dapat digunakan untuk menyalakan lampu penerangan jalan. Telah dilakukan 3 kali pengambilan data. Untuk percobaan yang pertama baterai dapat terisi sebesar 85,19% dari kapasitas penuh dengan tegangan sebesar 13,01 V pada baterai. Untuk percobaan yang kedua baterai dapat terisi sebesar 88,15% dari kapasitas penuh dengan tegangan sebesar 13,05 V pada baterai. Untuk percobaan yang pertama baterai dapat terisi sebesar 87,41% dari kapasitas penuh dengan tegangan sebesar 13,04 V pada baterai.

Setelah dilakukan pengujian pada percobaan pertama lampu dapat menyala selama 7 jam 32 menit. Kemudian pada percobaan kedua lampu dapat menyala selama 7 jam 48 menit. Dan pada

percobaan ketiga lampu dapat menyala selama 7 jam 42 menit. Pengujian lampu dilakukan seperti yang terlihat pada gambar 4.21.



Gambar 4. 21 Pengujian lampu jalan 50 watt

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Adapun kesimpulan yang dapat diambil dari penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Parameter yang terdapat pada sistem *active dual axis solar tracker* untuk lampu penerangan jalan adalah nilai dari perubahan intensitas matahari yang digunakan sebagai nilai input dari sensor LDR yang digunakan
2. Parameter kontrol pada *Fuzzy PID* controller adalah nilai K_p , K_i , K_d yang dimasukkan ke dalam *Fuzzy Logic Controller (FLC)*, sehingga output dari *fuzzy inference system* ada 3 yaitu nilai K_p , K_i , dan K_d . Pada penelitian sistem *dual axis solar tracker* dengan kontroler *Fuzzy PID* ini menggunakan 5 *membership function*.
3. Indeks performansi respon sistem dengan kontrol fuzzy dan fuzzy PID memiliki perbedaan nilai. Pada kontrol fuzzy nilai *rise time* dan *settling time* sebesar 9,8 s dan 11,2 s untuk sudut *pitch* dan 4,6 s dan 5,4 s untuk sudut *yaw*. Sedangkan pada kontrol fuzzy PID nilai *rise time* dan *settling time* sebesar 8,2 s dan 9,6 s untuk sudut *pitch* dan 3,6 s dan 4,8 s untuk sudut *yaw*. Dan tingkat performansinya sebesar 48,3 % dibandingkan dengan *fixed* panel. Energi hasil PV *tracker* dalam 3 kali percobaan rata – rata dapat menyalakan beban lampu LED 50 watt selama 7 jam 40 menit.

5.2 Saran

Adapun saran yang bisa diberikan oleh penulis untuk pengembangan selanjutnya adalah sebagai berikut.

1. Disarankan tidak menggunakan kabel jumper karena jika terdapat gangguan/goncangan membuat data yang dihasilkan dapat berubah.
2. Penggunaan motor DC bisa diganti menggunakan motor stepper agar energi dari baterai tidak terpakai terus menerus.

3. Pada penelitian selanjutnya selain beban pada lampu waktu proses *discharge* baterai, energi pada baterai juga terpakai pada komponen inverter dan perlu dilakukan perhitungan lebih lanjut.

DAFTAR PUSTAKA

- Abadi, I., Musyafa', A., & Soeprijanto, A. (2015). Design and Implementation of Active Two Axes Solar Tracking System Using Particle Swarm Optimization. *International Review on Modelling and Simulations (I.RE.MO.S.)* .
- Abadi, I., Soeprijanto, A., & Musyafa, A. (2014). Design of single axis solar tracking system at photovoltaic panel using fuzzy logic controller. *IET Digital Library* , 2.04 - 2.04.
- Ardiatama, M. W., & Abadi, I. (2018). Perancangan Sistem Penjejak Matahari Dua Sumbu Dengan Metode Active Tracking Menggunakan Kontrol Fuzzy Tipe-2 Interval. *Jurnal Teknik ITS* , 78-83.
- Abidin, Z., & Bachri, A. (t.thn.). Analisis Dan Efisiensi Daya Instalasi Penerangan Jalan Umum Menggunakan Solar Cell Di Kabupaten Lamongan.
- AL-Rousan, N., Isa, N. A., & Desa, M. K. (2018). Advances in solar photovoltaic tracking systems: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* .
- Ariani, W. D., Karnoto, & Winardi, B. (2014). ANALISIS KAPASITAS DAN BIAYA PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA SURYA KOMUNAL DESA KALIWUNGU KABUPATEN BANJARNEGARA. *TRANSIENT* , 159.
- b, Q. L., Liub, Y., Guoa, S., & Zhoua, H. (2017). Solar energy storage in the rechargeable batteries. *Nano Today* , 46-60.
- Banerjee, R. (2015). Solar Tracking System. *International Journal of Scientific and Research Publications* .
- C. Roshini, G. A. (2014). Low Cost Solar Tracker with High Efficiency Charging Technique. *International Journal of Research in Science & Technology (IJRST)* .
- Dondariya, C., Porwal, D., Awasthi, A., Shukla, A. K., Sudhakar, K., S.R., M. M., et al. (2018). Performance simulation of grid-connected rooftop solar PV system for small households : A case study of IUjjain, India. *Energy Reports* , 546-553.
- K, V. (2016). Designing a Dual Axis Solar Tracking System for Maximum Power. *Journal of Electrical & Electronic Systems* .

- Kamrul Islam, C., Md.Iftekhhar ul, A., & Promit Shams, B. (2017). *Performance Comparison Between Fixed Panel, Single-axis and Dual-axis Sun Tracking Solar Panel System*. BRAC University.
- Lia, L.-L., Lina, G.-Q., Tseng, M.-L., Tand, K., & Lim, M. K. (2018). A maximum power point tracking method for PV system with improved gravitational search algorithm. *Applied Soft Computing* , 333–348.
- Mahendran, M., Ong, H., Lee, G., & Thanikaikumaran, K. (2016). An Experimental comparison study between Single-Axis Tracking and Fixed Photovoltaic Solar Panel Efficiency and Power Output: Case Study in East.
- Malek, N. B., Hasini, H. B., Rahman, A. B., & Jaafar, M. N. (2010). An Improved Solar PV System for Malaysian Rural Electrification. *Proceedings of 2010 IEEE Student Conference on Research and Development (SCORED 2010)* .
- PONTORIERO, D., BLASCO, I., & HOESE, A. (1998). EFFICIENCY ANALYSIS ON SOLAR HOME PV SYSTEMS IN RURAL AREAS. *Renewable Energy* , 602-605.
- Sampaioa, P. G., & González, M. O. (2017). Photovoltaic solar energy: Conceptual framework. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 74 , 590–601.
- Sieckera, J., Kusakanaa, K., & Numbiba, B. (2017). A review of solar photovoltaic systems cooling technologies. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 79 , 192-203.
- Suhardi, D. (2017). MODEL PENGENDALI ALIRAN DAYA SEL SURYA TERSAMBUNG KE RUMAH TANGGA SISTEM ON GRID. *Seminar Nasional Teknologi dan Rekayasa (SENTRA)* , 2527-6042.
- Sinha, D., & Hu, N. B. (2016). Fuzzy Logic Based Dual Axis Solar Tracking System. *International Journal of Computer Applications* .
- M. Hendro, "Perancangan dan Pembuatan Prototype Sistem Tracker Sel Surya untuk Mengikuti Arah Gerak Matahari,"

in *Prosiding Simposium Nasional Inovasi dan Pembelajaran Sains*, 2015.

M. Bates, *Interfacing PIC Microcontroller Embedded Design by Interactive Simulation*, Elsevier, 2010.

A. A. Balabel, A. M and S. F. A, "Design and Performance of Solar Tracking Photovoltaic System," *International Journal of Control, Automation And System*, p. Vol 1 No 2, 2013.

Halaman ini sengaja dikosongkan

LAMPIRAN

A. Lampiran Data Sensor Arus ACS712

Pengambilan data pengujian sensor arus ACS712

Arus Input (A)	Pembacaan Sensor (A)						Rata - Rata Pembacaan		Rata-rata pembacaan
	Uji naik			Uji Turun			Naik	Turun	
	1	2	3	1	2	3			
0,00	0,01	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00
0,10	0,11	0,11	0,11	0,05	0,05	0,05	0,11	0,05	0,08
0,20	0,20	0,21	0,21	0,16	0,16	0,16	0,21	0,16	0,18
0,30	0,30	0,31	0,30	0,27	0,27	0,27	0,30	0,27	0,29
0,40	0,41	0,41	0,41	0,37	0,37	0,37	0,41	0,37	0,39
0,50	0,52	0,51	0,51	0,51	0,51	0,51	0,51	0,51	0,51
0,60	0,61	0,62	0,62	0,62	0,62	0,62	0,62	0,62	0,62
0,70	0,72	0,72	0,72	0,72	0,72	0,72	0,72	0,72	0,72
0,80	0,82	0,82	0,82	0,82	0,82	0,82	0,82	0,82	0,82
0,90	0,91	0,91	0,91	0,92	0,92	0,92	0,91	0,92	0,92
1,00	1,02	1,02	1,02	1,01	1,01	1,01	1,02	1,01	1,02
1,10	1,11	1,11	1,11	1,11	1,11	1,11	1,11	1,11	1,11
1,20	1,22	1,22	1,22	1,22	1,22	1,22	1,22	1,22	1,22
1,30	1,32	1,32	1,32	1,32	1,32	1,32	1,32	1,32	1,32
1,40	1,41	1,41	1,41	1,41	1,41	1,41	1,41	1,41	1,41
1,50	1,50	1,51	1,51	1,51	1,51	1,51	1,51	1,51	1,51

Pengambilan data kalibrasi sensor arus ACS712

Iref (A)	Pembacaan Sensor Arus (A)					\bar{X}_i	σ	U_{A1}
	1	2	3	4	5			
0,00	0,01	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,0054772	0,00136931
0,10	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,0000000	0,00000000
0,20	0,20	0,21	0,21	0,20	0,21	0,21	0,0054772	0,00136931
0,30	0,30	0,31	0,30	0,30	0,31	0,30	0,0054772	0,00136931
0,40	0,41	0,41	0,41	0,41	0,42	0,41	0,0044721	0,00111803
0,50	0,52	0,51	0,51	0,52	0,51	0,51	0,0054772	0,00136931
0,60	0,61	0,62	0,62	0,61	0,62	0,62	0,0054772	0,00136931
0,70	0,72	0,72	0,72	0,72	0,71	0,72	0,0044721	0,00111803
0,80	0,82	0,82	0,82	0,82	0,79	0,81	0,0134164	0,00335410
0,90	0,91	0,91	0,91	0,91	0,90	0,91	0,0044721	0,00111803
1,00	1,02	1,02	1,02	1,02	1,01	1,02	0,0044721	0,00111803
1,10	1,11	1,11	1,11	1,11	1,11	1,11	0,0000000	0,00000000
1,20	1,22	1,22	1,22	1,22	1,21	1,22	0,0044721	0,00111803
1,30	1,32	1,32	1,32	1,32	1,33	1,32	0,0044721	0,00111803
1,40	1,41	1,41	1,41	1,42	1,41	1,41	0,0044721	0,00111803
1,50	1,50	1,51	1,51	1,50	1,51	1,51	0,0054772	0,00136931

B. Lampiran Data Sensor Tegangan

Pengambilan data pengujian sensor tegangan

Tegangan Input (V)	Pembacaan Sensor (V)						Rata - rata Pembacaan		Rata-rata Pembacaan
	Uji naik			Uji turun			Naik	Turun	
	1	2	3	1	2	3			
0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1,00	1,00	1,01	1,01	1,00	1,00	1,00	1,01	1,00	1,00
2,00	2,00	2,00	2,02	2,01	2,01	1,98	2,01	2,00	2,00
3,00	3,00	2,99	3,00	3,03	3,02	3,02	3,00	3,02	3,01
4,00	4,02	4,02	4,02	4,02	3,98	3,98	4,02	3,99	4,01
5,00	5,01	5,01	5,02	5,05	5,04	5,04	5,01	5,04	5,03
6,00	6,02	6,03	6,03	6,03	6,01	6,01	6,03	6,02	6,02
7,00	7,05	7,05	7,05	7,02	7,02	7,02	7,05	7,02	7,04
8,00	8,01	8,00	7,98	8,03	8,03	8,02	8,00	8,03	8,01
9,00	9,02	9,02	9,03	9,02	9,02	9,02	9,02	9,02	9,02
10,00	10,04	10,04	10,05	10,01	10,01	10,01	10,04	10,01	10,03
11,00	11,01	11,01	11,01	11,05	11,04	11,04	11,01	11,04	11,03
12,00	12,00	12,00	12,01	12,02	12,00	12,00	12,00	12,01	12,01
13,00	13,03	13,03	13,02	13,06	13,07	13,07	13,03	13,07	13,05
14,00	14,06	14,06	14,08	14,06	14,06	14,06	14,07	14,06	14,06
15,00	15,04	15,04	15,03	15,03	15,03	15,04	15,04	15,03	15,04

Pengambilan data pengujian sensor tegangan

Vref (V)	Pembacaan Sensor Tegangan (V)					\bar{X}_i	σ	U_{A1}
	1	2	3	4	5			
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0000000	0,00000000
1,00	1,00	1,01	1,00	1,00	1,00	1,00	0,0044721	0,00111803
2,00	2,00	2,00	2,01	2,01	1,98	2,00	0,0122474	0,00306186
3,00	3,00	2,99	3,03	3,02	3,02	3,01	0,0164317	0,00410792
4,00	4,02	4,02	4,02	3,98	3,98	4,00	0,0219089	0,00547723
5,00	5,01	5,01	5,05	5,04	5,04	5,03	0,0187083	0,00467707
6,00	6,02	6,03	6,03	6,01	6,01	6,02	0,0100000	0,00250000
7,00	7,05	7,05	7,02	7,02	7,02	7,03	0,0164317	0,00410792
8,00	8,01	8,00	8,03	8,03	8,02	8,02	0,0130384	0,00325960
9,00	9,02	9,02	9,02	9,02	9,02	9,02	0,0000000	0,00000000
10,00	10,04	10,04	10,01	10,01	10,01	10,02	0,0164317	0,00410792
11,00	11,01	11,01	11,05	11,04	11,04	11,03	0,0187083	0,00467707
12,00	12,00	12,00	12,02	12,00	12,00	12,00	0,0089443	0,00223607
13,00	13,03	13,03	13,06	13,07	13,07	13,05	0,0204939	0,00512348
14,00	14,06	14,06	14,06	14,06	14,06	14,06	0,0000000	0,00000000
15,00	15,04	15,04	15,03	15,03	15,04	15,04	0,0054772	0,00136931

C. Lampiran Data Sensor LDR

Waktu (s)	Nilai ADC			
	LDR 1	LDR 2	LDR 3	LDR 4
1	989	978	992	997
2	990	976	993	998
3	989	978	992	998
4	990	978	993	998
5	989	980	991	997
6	988	978	992	998
7	989	976	992	1000
8	989	976	993	998
9	988	976	993	997
10	990	976	992	997
11	990	976	991	997
12	990	980	991	997
13	990	978	991	998
14	989	979	991	998
15	988	979	993	998
16	990	980	993	1001
17	991	980	993	1000
18	989	978	992	1000
19	988	979	993	998
20	989	979	991	998
21	988	979	993	998
22	988	978	993	997
23	988	976	994	998
24	988	977	993	998
25	988	977	993	998
26	990	977	993	999
27	991	978	993	1001
28	989	978	992	1001
29	988	978	991	998
30	988	979	991	997

D. Lampiran Data Karakteristik Performansi Photovoltaic

Waktu	Irradiansi (W/m ²)				Temperature (Celcius)				Tegangan (Volt)				Arus (Ampere)			
	1	2	3	Rata-Rata	1	2	3	Rata-Rata	1	2	3	Rata-Rata	1	2	3	Rata-Rata
06.00	332,3	336,5	341,2	336,6667	38	38	38	38	19,2	19,1	19,2	19,16667	2,1	2,2	2,2	2,166667
07.00	382,7	382,9	383,4	383	40	40	40	40	19,5	19,5	19,5	19,5	2,3	2,21	2,33	2,28
08.00	477,6	477,8	477,9	477,7667	43	42	43	42,66667	19,4	19,4	19,4	19,4	2,47	2,49	2,5	2,486667
09.00	756,7	757,1	756,5	756,7667	45	45	45	45	19,3	19,3	19,3	19,3	3,63	3,61	3,61	3,616667
10.00	854,5	853,7	854,3	854,1667	47	47	47	47	18,88	18,87	18,86	18,87	3,79	3,81	3,82	3,806667
11.00	944,6	944,2	943,9	944,2333	49	49	49	49	18,92	18,91	18,9	18,91	4,35	4,34	4,35	4,346667
12.00	945,9	945,6	945,1	945,5333	51	52	52	51,66667	18,75	18,75	18,74	18,74667	4,33	4,31	4,32	4,32
13.00	878,4	877,5	877,4	877,7667	50	49	50	49,66667	18,67	18,67	18,67	18,67	4,14	4,09	4,1	4,11
14.00	643,8	642,9	643,4	643,3667	49	49	49	49	18,7	18,7	18,7	18,7	3,01	2,99	2,97	2,99
15.00	474,5	475,9	476,3	475,5667	43	44	43	43,33333	18,9	18,9	18,9	18,9	2,31	2,31	2,31	2,31
16.00	237,2	236,3	236,5	236,6667	37	37	37	37	18,8	18,8	18,8	18,8	1,06	1,05	1,05	1,053333
17.00	135,4	134,7	135,2	135,1	35	34	35	34,66667	16,8	16,8	16,8	16,8	0,71	0,64	0,66	0,67

E. Lampiran Data Uji Performansi Photovoltaic Tracker

Waktu	Irradiansi (W/m ²)				Temperature (Celcius)				Tegangan (Volt)				Arus (Ampere)			
	1	2	3	Rata-Rata	1	2	3	Rata-Rata	1	2	3	Rata-Rata	1	2	3	Rata-Rata
06.00	732,1	743,2	742,2	739,1667	38	38	38	38	19,6	19,6	19,7	19,63333	3,9	3,92	3,89	3,903333
07.00	871,2	872,2	873,1	872,1667	40	40	40	40	20,3	20,3	20,3	20,3	4,15	4,16	4,2	4,17
08.00	915,5	916,2	915,7	915,8	43	42	43	42,66667	20,2	20,1	20,1	20,13333	4,28	4,29	4,29	4,286667
09.00	1007	1005	1007	1006,333	45	45	45	45	19,5	19,5	19,5	19,5	4,31	4,3	4,32	4,31
10.00	1015	1016	1016	1015,667	47	47	47	47	19,05	19,05	19,05	19,05	4,36	4,4	4,35	4,37
11.00	1027	1024	1025	1025,333	49	49	49	49	18,95	18,94	18,94	18,93333	4,51	4,49	4,44	4,48
12.00	1031	1030	1031	1030,667	51	52	52	51,66667	19,03	19,02	19,02	19,02333	4,43	4,44	4,42	4,43
13.00	1052	1053	1052	1052,333	50	49	50	49,66667	18,83	18,84	18,84	18,83667	4,58	4,57	4,56	4,57
14.00	992,7	992,3	995,5	993,5	49	49	49	49	19,2	19,2	19,2	19,2	4,34	4,32	4,33	4,33
15.00	949,7	992,3	949	963,6667	43	44	43	43,33333	19,6	19,6	19,6	19,6	4,2	4,18	4,16	4,18
16.00	802,4	801,9	803	802,4333	37	37	37	37	20,1	19,9	19,9	19,96667	3,34	3,36	3,36	3,353333
17.00	634,1	634,3	634,7	634,3667	35	34	35	34,66667	18,82	18,83	18,8	18,81667	3,01	3,03	2,98	3,006667

F. Source Code Program Arduino

```
unsigned long time;
long lastReadingLog = 0;
float readingInterval = 2000;

#define Dir1      3          // INA motor pin
BAWAH
#define Dir2      4          // INB motor pin
#define Dir3      9          // INA motor pin ATAS
#define Dir4      10         // INB motor pin

int LDR1 = A2; // input LDR1
int atas = 0; // variable to store the value coming from the
sensor
int LDR2 = A3;
int bawah = 0;
int LDR3 = A4;
int kanan = 0;
int LDR4 = A5;
int kiri = 0;

float vLDR1;
float vLDR2;
float vLDR3;
float vLDR4;

#include "fis_header.h"

// Number of inputs to the fuzzy inference system
const int fis_gcI = 2;
// Number of outputs to the fuzzy inference system
const int fis_gcO = 3;
// Number of rules to the fuzzy inference system
const int fis_gcR = 25;

FIS_TYPE g_fisInput[fis_gcI];
```

```

FIS_TYPE g_fisOutput[fis_gcO];

void setup() {
  Serial.begin(9600);
  pinMode(Dir1, OUTPUT); digitalWrite(Dir1,LOW);
  pinMode(Dir2, OUTPUT); digitalWrite(Dir2,LOW);
  pinMode(Dir3, OUTPUT); digitalWrite(Dir3,LOW);
  pinMode(Dir4, OUTPUT); digitalWrite(Dir4,LOW);

  // initialize the Analog pins for input.
  // Pin mode for Input: error
  pinMode(0 , INPUT);
  // Pin mode for Input: delta_error
  pinMode(1 , INPUT);

  // initialize the Analog pins for output.
  // Pin mode for Output: Kp
  pinMode(2 , OUTPUT);
  // Pin mode for Output: Ki
  pinMode(3 , OUTPUT);
  // Pin mode for Output: Kd
  pinMode(4 , OUTPUT);
}

void loop() {
  time = millis();
  kanan = analogRead(LDR3)-120; // membaca nilai
  analog LDR1
  vLDR3 = kanan * (5.0 / 1023); //nilai tegangan LDR
  kiri = analogRead(LDR4)+50; // read the value from the
  sensor
  vLDR4 = kiri * (5.0 / 1023);
  atas = analogRead(LDR1);
  vLDR1 = atas * (5.0 / 1023);
  bawah = analogRead(LDR2);

```

```

vLDR2 = bawah * (5.0 / 1023);

if (time - lastReadingLog == readingInterval){
    readingLDR();
    lastReadingLog = time;
}
control();

// Read Input: error
g_fisInput[0] = analogRead(0);
// Read Input: delta_error
g_fisInput[1] = analogRead(1);

g_fisOutput[0] = 0;
g_fisOutput[1] = 0;
g_fisOutput[2] = 0;

fis_evaluate();

// Set output vlaue: Kp
analogWrite(2 , g_fisOutput[0]);
// Set output vlaue: Ki
analogWrite(3 , g_fisOutput[1]);
// Set output vlaue: Kd
analogWrite(4 , g_fisOutput[2]);

}

void readingLDR(void){
    Serial.println();
    Serial.print("LDR1-LDR2=");
    Serial.println(vLDR1-vLDR2); //mencetak nilai pada
layar
    Serial.print("LDR3-LDR4=");
    Serial.println(vLDR3-vLDR4);
    Serial.print("LDR1=");

```

```

Serial.println(vLDR1);
Serial.print("LDR2=");
Serial.println(vLDR2);
Serial.print("LDR3=");
Serial.println(vLDR3);
Serial.print("LDR4=");
Serial.println(vLDR4);
}

```

```

FIS_TYPE fis_trapmf(FIS_TYPE x, FIS_TYPE* p)
{
    FIS_TYPE a = p[0], b = p[1], c = p[2], d = p[3];
    FIS_TYPE t1 = ((x <= c) ? 1 : ((d < x) ? 0 : ((c != d) ?
((d - x) / (d - c)) : 0)));
    FIS_TYPE t2 = ((b <= x) ? 1 : ((x < a) ? 0 : ((a != b) ?
(x - a) / (b - a)) : 0));
    return (FIS_TYPE) min(t1, t2);
}

```

// Triangular Member Function

```

FIS_TYPE fis_trimf(FIS_TYPE x, FIS_TYPE* p)
{
    FIS_TYPE a = p[0], b = p[1], c = p[2];
    FIS_TYPE t1 = (x - a) / (b - a);
    FIS_TYPE t2 = (c - x) / (c - b);
    if ((a == b) && (b == c)) return (FIS_TYPE) (x == a);
    if (a == b) return (FIS_TYPE) (t2*(b <= x)*(x <= c));
    if (b == c) return (FIS_TYPE) (t1*(a <= x)*(x <= b));
    t1 = min(t1, t2);
    return (FIS_TYPE) max(t1, 0);
}

```

```

FIS_TYPE fis_prod(FIS_TYPE a, FIS_TYPE b)
{
    return (a * b);
}

```

```

FIS_TYPE fis_probor(FIS_TYPE a, FIS_TYPE b)
{
    return (a + b - (a * b));
}

FIS_TYPE fis_sum(FIS_TYPE a, FIS_TYPE b)
{
    return (a + b);
}

FIS_TYPE fis_array_operation(FIS_TYPE *array, int
size, _FIS_ARR_OP pfnOp)
{
    int i;
    FIS_TYPE ret = 0;

    if (size == 0) return ret;
    if (size == 1) return array[0];

    ret = array[0];
    for (i = 1; i < size; i++)
    {
        ret = (*pfnOp)(ret, array[i]);
    }

    return ret;
}

_FIS_MF fis_gMF[] =
{
    fis_trapmf, fis_trimf
};

// Count of member function for each Input
int fis_gIMFCount[] = { 5, 5 };

```



```

// Count of member function for each Output
int fis_gOMFCount[] = { 5, 5, 5 };

// Coefficients for the Input Member Functions
FIS_TYPE fis_gMFI0Coeff1[] = { -10, -10, -7.5, -3.75 };
FIS_TYPE fis_gMFI0Coeff2[] = { -3.75, 0, 3.75 };
FIS_TYPE fis_gMFI0Coeff3[] = { 0, 3.75, 7.5 };
FIS_TYPE fis_gMFI0Coeff4[] = { -7.5, -3.75, 0 };
FIS_TYPE fis_gMFI0Coeff5[] = { 3.75, 7.5, 10, 10 };
FIS_TYPE* fis_gMFI0Coeff[] = { fis_gMFI0Coeff1,
fis_gMFI0Coeff2, fis_gMFI0Coeff3, fis_gMFI0Coeff4,
fis_gMFI0Coeff5 };
FIS_TYPE fis_gMFI1Coeff1[] = { -10, -10, -7.5, -3.75 };
FIS_TYPE fis_gMFI1Coeff2[] = { -7.5, -3.75, 0 };
FIS_TYPE fis_gMFI1Coeff3[] = { -3.75, 0, 3.75 };
FIS_TYPE fis_gMFI1Coeff4[] = { 0, 3.75, 7.5 };
FIS_TYPE fis_gMFI1Coeff5[] = { 3.75, 7.5, 10, 10 };
FIS_TYPE* fis_gMFI1Coeff[] = { fis_gMFI1Coeff1,
fis_gMFI1Coeff2, fis_gMFI1Coeff3, fis_gMFI1Coeff4,
fis_gMFI1Coeff5 };
FIS_TYPE** fis_gMFICoeff[] = { fis_gMFI0Coeff,
fis_gMFI1Coeff };

// Coefficients for the Output Member Functions
FIS_TYPE fis_gMFO0Coeff1[] = { 0, 0, 0 };
FIS_TYPE fis_gMFO0Coeff2[] = { 0, 0, 0.25 };
FIS_TYPE fis_gMFO0Coeff3[] = { 0, 0, 0.5 };
FIS_TYPE fis_gMFO0Coeff4[] = { 0, 0, 0.75 };
FIS_TYPE fis_gMFO0Coeff5[] = { 0, 0, 1 };
FIS_TYPE* fis_gMFO0Coeff[] = { fis_gMFO0Coeff1,
fis_gMFO0Coeff2, fis_gMFO0Coeff3,
fis_gMFO0Coeff4, fis_gMFO0Coeff5 };
FIS_TYPE fis_gMFO1Coeff1[] = { 0, 0, 0 };
FIS_TYPE fis_gMFO1Coeff2[] = { 0, 0, 0.5 };
FIS_TYPE fis_gMFO1Coeff3[] = { 0, 0, 1 };

```

```

FIS_TYPE fis_gMFO1Coeff4[] = { 0, 0, 0 };
FIS_TYPE fis_gMFO1Coeff5[] = { 0, 0, 1 };
FIS_TYPE* fis_gMFO1Coeff[] = { fis_gMFO1Coeff1,
fis_gMFO1Coeff2, fis_gMFO1Coeff3,
fis_gMFO1Coeff4, fis_gMFO1Coeff5 };
FIS_TYPE fis_gMFO2Coeff1[] = { 0, 0, 0 };
FIS_TYPE fis_gMFO2Coeff2[] = { 0, 0, 0.5 };
FIS_TYPE fis_gMFO2Coeff3[] = { 0, 0, 1 };
FIS_TYPE fis_gMFO2Coeff4[] = { 0, 0, 0 };
FIS_TYPE fis_gMFO2Coeff5[] = { 0, 0, 0.25 };
FIS_TYPE* fis_gMFO2Coeff[] = { fis_gMFO2Coeff1,
fis_gMFO2Coeff2, fis_gMFO2Coeff3,
fis_gMFO2Coeff4, fis_gMFO2Coeff5 };
FIS_TYPE** fis_gMFOCoeff[] = { fis_gMFO0Coeff,
fis_gMFO1Coeff, fis_gMFO2Coeff };

// Input membership function set
int fis_gMFI0[] = { 0, 1, 1, 1, 0 };
int fis_gMFI1[] = { 0, 1, 1, 1, 0 };
int* fis_gMFI[] = { fis_gMFI0, fis_gMFI1 };

// Output membership function set

int* fis_gMFO[] = { };

// Rule Weights
FIS_TYPE fis_gRWeight[] = { 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1,
1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1 };

// Rule Type
int fis_gRType[] = { 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1,
1, 1, 1, 1, 1, 1 };

// Rule Inputs
int fis_gRI0[] = { 1, 1 };
int fis_gRI1[] = { 1, 2 };

```

```

int fis_gRI2[] = { 1, 3 };
int fis_gRI3[] = { 1, 4 };
int fis_gRI4[] = { 1, 5 };
int fis_gRI5[] = { 4, 1 };
int fis_gRI6[] = { 4, 2 };
int fis_gRI7[] = { 4, 3 };
int fis_gRI8[] = { 4, 4 };
int fis_gRI9[] = { 4, 5 };
int fis_gRI10[] = { 2, 1 };
int fis_gRI11[] = { 2, 2 };
int fis_gRI12[] = { 2, 3 };
int fis_gRI13[] = { 2, 4 };
int fis_gRI14[] = { 2, 5 };
int fis_gRI15[] = { 3, 1 };
int fis_gRI16[] = { 3, 2 };
int fis_gRI17[] = { 3, 3 };
int fis_gRI18[] = { 3, 4 };
int fis_gRI19[] = { 3, 5 };
int fis_gRI20[] = { 5, 1 };
int fis_gRI21[] = { 5, 2 };
int fis_gRI22[] = { 5, 3 };
int fis_gRI23[] = { 5, 4 };
int fis_gRI24[] = { 5, 5 };
int* fis_gRI[] = { fis_gRI0, fis_gRI1, fis_gRI2, fis_gRI3,
fis_gRI4, fis_gRI5, fis_gRI6, fis_gRI7, fis_gRI8,
fis_gRI9, fis_gRI10, fis_gRI11, fis_gRI12, fis_gRI13,
fis_gRI14, fis_gRI15, fis_gRI16, fis_gRI17, fis_gRI18,
fis_gRI19, fis_gRI20, fis_gRI21, fis_gRI22, fis_gRI23,
fis_gRI24 };

```

```

// Rule Outputs

```

```

int fis_gRO0[] = { 5, 5, 5 };
int fis_gRO1[] = { 5, 4, 4 };
int fis_gRO2[] = { 4, 5, 4 };
int fis_gRO3[] = { 4, 5, 4 };
int fis_gRO4[] = { 3, 1, 4 };

```

```

int fis_gRO5[] = { 5, 5, 4 };
int fis_gRO6[] = { 4, 5, 4 };
int fis_gRO7[] = { 4, 4, 4 };
int fis_gRO8[] = { 3, 1, 3 };
int fis_gRO9[] = { 2, 1, 2 };
int fis_gRO10[] = { 4, 4, 4 };
int fis_gRO11[] = { 4, 5, 4 };
int fis_gRO12[] = { 3, 1, 3 };
int fis_gRO13[] = { 2, 1, 2 };
int fis_gRO14[] = { 2, 1, 2 };
int fis_gRO15[] = { 4, 5, 4 };
int fis_gRO16[] = { 3, 1, 3 };
int fis_gRO17[] = { 2, 1, 2 };
int fis_gRO18[] = { 2, 1, 2 };
int fis_gRO19[] = { 1, 2, 2 };
int fis_gRO20[] = { 3, 5, 2 };
int fis_gRO21[] = { 2, 1, 2 };
int fis_gRO22[] = { 2, 1, 2 };
int fis_gRO23[] = { 1, 1, 2 };
int fis_gRO24[] = { 1, 2, 1 };
int* fis_gRO[] = { fis_gRO0, fis_gRO1, fis_gRO2,
fis_gRO3, fis_gRO4, fis_gRO5, fis_gRO6, fis_gRO7,
fis_gRO8, fis_gRO9, fis_gRO10, fis_gRO11, fis_gRO12,
fis_gRO13, fis_gRO14, fis_gRO15, fis_gRO16,
fis_gRO17, fis_gRO18, fis_gRO19, fis_gRO20,
fis_gRO21, fis_gRO22, fis_gRO23, fis_gRO24 };

// Input range Min
FIS_TYPE fis_gIMin[] = { -10, -10 };

// Input range Max
FIS_TYPE fis_gIMax[] = { 10, 10 };

// Output range Min
FIS_TYPE fis_gOMin[] = { 0, 0, 0 };

```

```

// Output range Max
FIS_TYPE fis_gOMax[] = { 1, 1, 1 };

void fis_evaluate()
{
    FIS_TYPE fuzzyInput0[] = { 0, 0, 0, 0, 0 };
    FIS_TYPE fuzzyInput1[] = { 0, 0, 0, 0, 0 };
    FIS_TYPE* fuzzyInput[fis_gcI] = { fuzzyInput0,
fuzzyInput1, };
    FIS_TYPE fuzzyOutput0[] = { 0, 0, 0, 0, 0 };
    FIS_TYPE fuzzyOutput1[] = { 0, 0, 0, 0, 0 };
    FIS_TYPE fuzzyOutput2[] = { 0, 0, 0, 0, 0 };
    FIS_TYPE* fuzzyOutput[fis_gcO] = { fuzzyOutput0,
fuzzyOutput1, fuzzyOutput2, };
    FIS_TYPE fuzzyRules[fis_gcR] = { 0 };
    FIS_TYPE fuzzyFires[fis_gcR] = { 0 };
    FIS_TYPE* fuzzyRuleSet[] = { fuzzyRules, fuzzyFires
};
    FIS_TYPE sW = 0;

    // Transforming input to fuzzy Input
    int i, j, r, o;
    for (i = 0; i < fis_gcI; ++i)
    {
        for (j = 0; j < fis_gIMFCount[i]; ++j)
        {
            fuzzyInput[i][j] =
                (fis_gMF[fis_gMFI[i][j]])(g_fisInput[i],
fis_gMFCoeff[i][j]);
        }
    }

    int index = 0;
    for (r = 0; r < fis_gcR; ++r)
    {
        if (fis_gRType[r] == 1)

```

```

    {
        fuzzyFires[r] = 1;
        for (i = 0; i < fis_gcI; ++i)
        {
            index = fis_gRI[r][i];
            if (index > 0)
                fuzzyFires[r] = fis_prod(fuzzyFires[r],
fuzzyInput[i][index - 1]);
            else if (index < 0)
                fuzzyFires[r] = fis_prod(fuzzyFires[r], 1 -
fuzzyInput[i][-index - 1]);
            else
                fuzzyFires[r] = fis_prod(fuzzyFires[r], 1);
        }
    }
    else
    {
        fuzzyFires[r] = 0;
        for (i = 0; i < fis_gcI; ++i)
        {
            index = fis_gRI[r][i];
            if (index > 0)
                fuzzyFires[r] = fis_probor(fuzzyFires[r],
fuzzyInput[i][index - 1]);
            else if (index < 0)
                fuzzyFires[r] = fis_probor(fuzzyFires[r], 1 -
fuzzyInput[i][-index - 1]);
            else
                fuzzyFires[r] = fis_probor(fuzzyFires[r], 0);
        }
    }

    fuzzyFires[r] = fis_gRWeight[r] * fuzzyFires[r];
    sW += fuzzyFires[r];
}

```

```

if (sW == 0)
{
    for (o = 0; o < fis_gcO; ++o)
    {
        g_fisOutput[o] = ((fis_gOMax[o] +
fis_gOMin[o]) / 2);
    }
}
else
{
    for (o = 0; o < fis_gcO; ++o)
    {
        FIS_TYPE sWI = 0.0;
        for (j = 0; j < fis_gOMFCount[o]; ++j)
        {
            fuzzyOutput[o][j] =
fis_gMFOCoeff[o][j][fis_gcI];
            for (i = 0; i < fis_gcI; ++i)
            {
                fuzzyOutput[o][j] += g_fisInput[i] *
fis_gMFOCoeff[o][j][i];
            }
        }

        for (r = 0; r < fis_gcR; ++r)
        {
            index = fis_gRO[r][o] - 1;
            sWI += fuzzyFires[r] * fuzzyOutput[o][index];
        }

        g_fisOutput[o] = sWI / sW;
    }
}
}

void control(void){

```

```

if (vLDR2 - vLDR1 > 0.3){
  if (time - lastReadingLog == readingInterval){
    Serial.print("Ke Atas = ");
    Serial.println(vLDR2 -vLDR1);
  }
  digitalWrite(Dir3, HIGH);
  digitalWrite(Dir4, LOW);}
else if (vLDR1 - vLDR2 > 0.3){
  if (time - lastReadingLog == readingInterval){
    Serial.print("Ke Bawah= ");
    Serial.println(vLDR2 - vLDR1);
  }
  digitalWrite(Dir3, LOW);
  digitalWrite(Dir4, HIGH);}
else {
  digitalWrite(Dir3, LOW);
  digitalWrite(Dir4, LOW);}

if (vLDR4 - vLDR3 > 0.3){
  if (time - lastReadingLog == readingInterval){
    Serial.print("Ke Kanan= ");
    Serial.println(vLDR4 - vLDR3);
  }
  digitalWrite(Dir1, HIGH);
  digitalWrite(Dir2, LOW);}
else if (vLDR3 - vLDR4 > 0.3){
  if (time - lastReadingLog == readingInterval){
    Serial.print("Ke Kiri = ");
    Serial.println(vLDR3 - vLDR4);
  }
  digitalWrite(Dir1, LOW);
  digitalWrite(Dir2, HIGH);}
else {
  digitalWrite(Dir1, LOW);
  digitalWrite(Dir2, LOW);}

```


}

BIODATA PENULIS



Penulis bernama Wahyu Zulfikar Putra biasa dipanggil Wahyu atau Zul. Penulis lahir di Magetan pada tanggal 14 April 1997. Penulis merupakan anak ketiga dari tiga bersaudara hasil pernikahan antara Marimun dengan Suhartati. Penulis telah menyelesaikan pendidikan tingkat dasar di SDN 02 Josenan Madiun pada tahun 2009, pendidikan menengah pertama di SMPN 2 Madiun pada tahun 2012, dan pendidikan menengah atas di SMAN 2 Madiun pada tahun 2015. Penulis diterima sebagai mahasiswa S1 Teknik Fisika ITS pada tahun 2015. Selama masa perkuliahan penulis aktif di Laboratorium Pengukuran Fisis Departemen Teknik Fisika ITS sebagai asisten laboratorium. Penulis telah melakukan *internship* di Indonesia Power UP. Semarang dengan penempatan pada bagian *Balance Of Plant (BOP)*. Pada pengerjaan tugas akhir, penulis memiliki fokus pada bidang minat rekayasa instrumentasi dan kontrol. Apabila ada saran, kritik, ataupun diskusi lebih lanjut dengan penulis dapat menghubungi melalui e-mail wahyuzulfikarputra@gmail.com.