



TUGAS AKHIR - TF 141581
RANCANG BANGUN *MOBILE ACTIVE*
TWO AXIS SOLAR TRACKER
MENGUNAKAN REFLEKTOR BERBASIS
KONTROL *MODIFIED PARTICLE SWARM*
FUZZY

KURNIA DIAN BASKORO
NRP.0231144000002

Dosen Pembimbing
Ir. Ronny Dwi Noriyati, M.Kes

DEPARTEMEN TEKNIK FISIKA
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2018

Halaman ini sengaja dikosongkan



FINAL PROJECT - TF141581
***DESIGN OF MOBILE ACTIVE TWO AXIS SOLAR
TRACKER USING REFLECTOR BASED ON
MODIFIED PARTICLE SWARM FUZZY
CONTROL***

KURNIA DIAN BASKORO
NRP.0231144000002

Supervisors
Ir. Ronny Dwi Noriyati, M.Kes

DEPARTMENT OF ENGINEERING PHYSICS
Faculty of Industrial Technology
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2018

Halaman ini sengaja dikosongkan

PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Kurnia Dian Baskoro

NRP : 0231144000002

Departemen : Teknik Fisika FTI-ITS

dengan ini menyatakan bahwa tugas akhir saya yang berjudul "RANCANG BANGUN *MOBILE ACTIVE TWO AXIS SOLAR TRACKER* MENGGUNAKAN *REFLECTOR* BERBASIS KONTROL MODIFIED PARTICLE SWARM FUZZY" adalah bebas plagiasi. Apabila pernyataan ini terbukti tidak benar, maka saya bersedia menerima sanksi sesuai ketentuan yang berlaku.

Demikian surat pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Surabaya, Juli 2018
Yang membuat pernyataan,



Kurnia Dian Baskoro

Halaman ini sengaja dikosongkan

**LEMBAR PENGESAHAN
TUGAS AKHIR**

**RANCANG BANGUN *MOBILE ACTIVE TWO AXIS*
SOLAR TRACKER MENGGUNAKAN REFLEKTOR
BERBASIS KONTROL *MODIFIED PARTICLE*
*SWARM FUZZY***

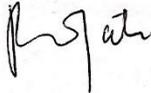
Oleh:

Kurnia Dian Baskoro
NRP : 0231144000002

Surabaya,

Mengetahui / Menyetujui

Pembimbing



Ir. Ronny Dwi Norivati, M.Kes
NIP. 19571126 198403 2 002

Kepala Departemen Teknik Fisika



vii

Halaman ini sengaja dikosongkan

LEMBAR PENGESAHAN

**RANCANG BANGUN *MOBILE ACTIVE TWO AXIS*
SOLAR TRACKER MENGGUNAKAN REFLEKTOR
BERBASIS KONTROL *MODIFIED PARTICLE*
*SWARM FUZZY***

TUGAS AKHIR

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

Oleh :

Kurnia Dian Baskoro
NRP. 0231144000002

Disetujui oleh Tim Penguji Tugas Akhir :

1. Ir. Ronny Dwi Noriyati, M.Kes .....(Pembimbing 1)
2. Dr. Imam Abadi, ST., MT. .....(Ketua Penguji)
3. Dr.Ir. Ali Musyafa', M.Sc .....(Penguji)

SURABAYA
Juli, 2018

Halaman ini sengaja dikosongkan

**RANCANG BANGUN *MOBILE ACTIVE TWO AXIS*
SOLAR TRACKER MENGGUNAKAN REFLEKTOR
BERBASIS KONTROL *MODIFIED PARTICLE*
*SWARM FUZZY***

Nama Mahasiswa : Kurnia Dian Baskoro
NRP : 0231144000002
Program Studi : S1 Teknik Fisika
Dosen Pembimbing : Ir. Ronny Dwi Noriyati, M.Kes

Abstrak

Sistem penjejak matahari merupakan salah satu solusi yang ditawarkan untuk memanfaatkan energi surya secara optimal. Sistem penjejak matahari atau biasa disebut dengan *solar tracker* adalah sebuah piranti elektronik yang terdiri dari beberapa elemen elektrik dan mekanik, yang berfungsi untuk memandu panel surya agar selalu mengikuti posisi matahari secara akurat dan menghasilkan penerimaan energi matahari secara maksimal. Sistem penjejak matahari aktif menggunakan sebuah sensor LDR untuk menangkap kuat pencahayaan matahari yang akan diterima oleh photovoltaik. 4 buah sensor LDR digunakan untuk mewakili posisi matahari yaitu utara, selatan, barat dan timur. Penelitian ini menerapkan kontrol berbasis *modified particle swarm fuzzy* yang akan digunakan dalam sistem sehingga sistem panel surya lebih efektif dan responsif terhadap perubahan posisi sinar matahari. Hasil menunjukkan bahwasannya sistem kontrol mampu diterapkan dengan baik menggunakan *reflector 70* derajat. Hal ini terlihat dari hasil indeks performansi *error steady state* pada uji *set point pitch* sebesar 0.638% dan uji *set point yaw* sebesar 0.312%. Sedangkan untuk performansi *rise time*, *settling time* dan *Mov* untuk sudut *pitch* dan sudut *yaw* berturut-turut adalah 7 detik, 9 detik, 0% dan 4 detik, 6 detik dan 0%. Peningkatan efisiensi energi yang dicapai oleh *mobile active solar tracjer* sebesar 43,01%
Kata kunci : *Solar Tracker, Active Solar Tracker, Modified Particle Swarm Fuzzy*

Halaman ini sengaja dikosongkan

DESIGN OF MOBILE ACTIVE TWO AXIS SOLAR TRACKER USING REFLECTOR BASED ON MODIFIED PARTICLE SWARM FUZZY CONTROL

Name : Kurnia Dian Baskoro
NRP : 0231144000002
Study Program : S1 Teknik Fisika
Supervisor : Ir. Ronny Dwi Noriyati, M.Kes

Abstract

Sun tracking system is one solution offered to utilize solar energy optimally. Sun tracking system or commonly called a solar tracker is a system consisting of sensors, control logic and DC motors. The position of the photovoltaic is arranged in such a way by using a control system so that the PV position is always perpendicular to the sun so that it produces optimal power. The active sun tracking system uses an LDR sensor to capture the powerful solar lighting to be received by photovoltaics. 4 pieces of LDR sensor are used to represent the position of the sun that is north, south, west and east. Photovoltaic moves on two corners: yaw and pitch. This research applies control modified particle swarm fuzzy which will be used in system so that solar panel system more effective and responsive to change of sun position position. The results show that the control system can be applied with 70 degree reflector based on error steady state in test set point pitch is 0.638% and test set point is 0.312%. Increased energy efficiency achieved by mobile active solar tracker by 43,1%.

Keywords : Solar Tracker, Active Solar Tracker, Modified Particle Swarm Fuzzy

Halaman ini sengaja dikosongkan

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kepada Allah S.W.T, karena rahmat dan hikmat-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. Agus Muhamad Hatta, ST, MSi, Ph.D. selaku ketua departemen Teknik Fisika ITS.
2. Ibu Ronny Dwi Noriyati selaku dosen pembimbing tugas akhir ini, yang selalu sabar memberikan semangat dan masukan-masukan kepada penulis sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir.
3. Segenap Bapak/Ibu dosen pengajar di Departemen Teknik Fisika - ITS.
4. Segenap keluarga yang telah memberikan dukungan penuh dalam penyelesaian tugas akhir ini.
5. Rekan-rekan angkatan 2014 dan warga Teknik Fisika - ITS, yang senantiasa memberikan motivasi dan perhatian.
6. Teman-teman Laboratorium Pengukuran Fisis - Teknik Fisika yang senantiasa memberikan motivasi dan perhatian.
7. Teman-teman seperjuangan TA yang telah memotivasi dan memberikan bantuan-bantuan dalam penyelesaian laporan tugas akhir ini.

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, 2018

Halaman ini sengaja dikosongkan

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI	Error! Bookmark not defined.
LEMBAR PENGESAHAN TUGAS AKHIR	Error! Bookmark not defined.
LEMBAR PENGESAHAN	Error! Bookmark not defined.
ABSTRAK	xi
<i>ABSTRACT</i>	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	2
1.3 Batasan Masalah	3
1.4 Tujuan Tugas Akhir	3
1.5 Sistematika Laporan	3
BAB II DASAR TEORI	5
2.1 <i>Solar Tracker</i>	5
2.2 Panel Surya (PV)	7
2.3 <i>Light Dependent Resistor</i> (LDR)	8
2.4 Sistem Logika <i>Fuzzy</i>	10
2.5 <i>Particle Swarm Optimization</i>	14
2.6 <i>Modified Particle Swarm Optimization</i>	17
BAB III METODE PENELITIAN	19
3.1 Studi Pustaka	20
3.2 Pengumpulan Data Sekunder	21
3.2.1 Spesifikasi PV	21
3.2.2 Aktuator (Motor DC)	22
3.2.3 Sensor (Sensor LDR, Tegangan, dan Arus)	22
3.2.4 Kontroler (Arduino Mega 2560)	23
3.3 Perancangan <i>Solar Tracker</i>	24

3.4	Pengujian Komponen	27
3.5	Perancangan Kontrol MPSO- <i>Fuzzy</i>	27
BAB IV ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN		35
4.1	Hasil Uji dan Kalibrasi Sensor Arus.....	35
4.2	Hasil Uji dan Kalibrasi Sensor Tegangan.....	37
4.3	Hasil Uji Sensor LDR.....	40
4.4	Hasil Uji Performansi <i>Photovoltaic</i>	41
4.5	Hasil Uji <i>Setpoint</i> Kontrol MPSO - <i>Fuzzy</i>	43
4.5	Hasil Uji <i>Tracking Setpoint</i> Kontrol MPSO- <i>Fuzzy</i>	46
4.6	Hasil Uji Performansi PV <i>Fixbased</i>	48
4.7	Hasil Uji <i>Mobile Active Solar Tracker</i> dengan <i>Reflector</i>	51
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN		59
5.1	Kesimpulan.....	59
5.2	Saran.....	59
DAFTAR PUSTAKA.....		61
LAMPIRAN		65
A.	Lampiran Data Sensor Tegangan	65
B.	Lampiran Data Pengambilan Sensor ACS712.....	66
C.	Lampiran Data Sensor LDR	67
D.	Lampiran Data Performansi Karakteristik <i>Photovoltaic</i>	68
E.	Lampiran Data Uji Performansi <i>Photovoltaic</i>	69
F.	Source Code Program Arduino	72

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1	Solar Tracker dua sumbu [7].....	6
Gambar 2. 2	Posisi Letak LDR	7
Gambar 2. 3	Kontruksi LDR [1]	9
Gambar 2. 4	Grafik Input Output LDR [1]	9
Gambar 2. 5	Sistematika fuzzy logic controller [9]	10
Gambar 2. 6	Fungsi Keanggotaan Segitiga [9]	12
Gambar 2. 7	Fungsi Keanggotaan Trapesium [9]	12
Gambar 2. 8	Fungsi Keanggotaan Gaussian [9]	13
Gambar 2. 9	Fungsi Keanggotaan Generalized bell [9]	14
Gambar 2. 10	Diagram Alir PSO [8]	16
Gambar 3. 1	Diagram alir tahapan penelitian	19
Gambar 3. 2	Lanjutan	20
Gambar 3. 3	Diagram Blok Solar Tracker	24
Gambar 3. 4	Desain prototype solar tracker	25
Gambar 3. 5	Komponen Elektrik Active Solar Tracker.....	26
Gambar 3. 6	Prototipe active solar tracker.....	27
Gambar 3. 7	Fungsi Keanggotaan Fuzzy (a) deltaerror (b) error	29
Gambar 3. 8	Fungsi Keanggotaan Output Fuzzy	29
Gambar 3. 9	Langkah Optimasi PSO.....	31
Gambar 3. 10	Membership Function hasil Optimasi (a) error (b) . deltaerror.....	33
Gambar 3. 11	Fungsi Keanggotaan Output MPSO Fuzzy	34
Gambar 4. 1	Grafik uji naik dan uji turun sensor ACS712.....	36
Gambar 4. 2	Grafik Linearitas Sensor ACS712.....	37
Gambar 4. 3	Grafik Uji naik dan uji turun sensor tegangan	38
Gambar 4. 4	Linieritas sensor tegangan 25V	39
Gambar 4. 5	Karakteristik tegangan LDR	40

Gambar 4. 6	Grafik Perbandingan output tegangan PV.....	41
Gambar 4. 7	Grafik respon output uji performansi PV.....	42
Gambar 4. 8	Grafik Uji Performansi Daya PV.....	43
Gambar 4. 9	Respon Uji Set Point Sudut Pitch.....	44
Gambar 4. 10	Respon Uji Set Point Sudut Yaw.....	45
Gambar 4. 11	Respon Tegangan LDR sumbu pitch.....	47
Gambar 4. 12	Respon Tegangan LDR sumbu yaw.....	47
Gambar 4. 13	Grafik Uji Performansi Tegangan fixbased.....	49
Gambar 4. 14	Grafik Uji Performansi Arus <i>Fixbase</i>	50
Gambar 4. 15	Grafik Uji Performansi Daya Fixbase.....	50
Gambar 4. 16	Grafik Hasil Uji Performansi Tegangan.....	52
Gambar 4. 17	Grafik Hasil Uji Performansi Arus.....	53
Gambar 4. 18	Grafik Hasil Uji Performansi Daya.....	55
Gambar 4. 19	Grafik Hasil Uji Performansi Energi.....	56

DAFTAR TABEL

Tabel 3. 1 Spesifikasi Panel PV	21
Tabel 3. 2 Spesifikasi motor DC	22
Tabel 3. 3 Spesifikasi driver motor DC	22
Tabel 3. 4 Spesifikasi sensor dan LDR	23
Tabel 3. 5 Spesifikasi Arduino Mega 2560	23
Tabel 3. 6 Rule base Modified Particle Swarm Fuzzy [1]	30
Tabel 3. 7 Nilai Awal Parameter Optimasi	32
Tabel 3. 8 Parameter input yang dioptimasi	32
Tabel 3. 9 Parameter input hasil optimasi.....	32
Tabel 4. 1 Indeks Performansi Uji Set Point.....	46

Halaman ini sengaja dikosongkan

DAFTAR NOTASI

v_i^k	: kecepatan agen i pada iterasi k
ω	: fungsi pemberat (<i>inertia</i>)
c_i	: faktor pemberat ke- i
$rand$: nilai acak antara 0 dan 1
s_i^k	: posisi terakhir agen i pada iterasi k
$pbest_i$: best dari agen i
$gbest$: nilai $pbest$ terbaik dari kawanan
ω_{max}	: nilai pemberat (<i>inertia</i>) awal
ω_{min}	: nilai pemberat (<i>inertia</i>) akhir
$iter_{max}$: jumlah iterasi maksimum
$iter$: jumlah iterasi terakhir
V	: tegangan
I	: arus
P	: daya
W	: energi

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Energi surya adalah salah satu bentuk pemanfaatan yang tengah dikembangkan diantara energi baru terbarukan lainnya yang telah lama digunakan di dunia. Ketersediaan energi surya yang melimpah dan tidak terbatas serta dapat digunakan secara kontinyu membuat energi surya menjadi potensi energi yang sangat bagus untuk menjadi energi alternatif di Indonesia. *Solar cell* adalah alat yang dapat mengubah energi sinar matahari menjadi energi listrik. Teknologi surya dikategorikan secara umum menjadi teknologi pasif dan teknologi aktif, tergantung pada cara penyerapan, konversi, dan penyaluran cahaya matahari. [1]

Akan tetapi pemanfaatan dari *energy* surya untuk saat ini kurang maksimal. Salah satu penyebabnya adalah terbatasnya jumlah penerimaan cahaya matahari yang diterima oleh *photovoltaic*. Untuk mengatasi hal tersebut maka diperlukan sebuah piranti untuk memaksimalkan jumlah penerimaan cahaya matahari pada *photovoltaic* yang disebut *solar tracker*. *Solar tracker* adalah sebuah piranti elektronik yang terdiri dari beberapa elemen elektrik dan mekanik, yang berfungsi untuk memandu panel surya agar selalu mengikuti posisi matahari secara akurat dan menghasilkan penerimaan energi matahari secara maksimal.

Berdasarkan jumlah sumbu rotasinya, *solar tracker* dapat dibagi menjadi dua. Yaitu satu sumbu dan dua sumbu. Maksud dari satu sumbu adalah *solar tracker* yang hanya mampu melacak matahari berdasarkan sudut *tiel* atau *azimuth*. Sedangkan pada dua sumbu, *solar tracker* mampu melacak sudut *tiel* dan sudut *azimuth* sekaligus. Selain itu, *solar tracker* dari segi metode penjejakannya terdiri dari dua jenis yaitu metode aktif atau berbasis *photoresistive* dan metode pasif atau berdasarkan pengaturan manual ekspansi *thermal* dari perhitungan trajektori matahari. Dibandingkan dengan metode pasif, metode aktif memiliki tingkat efisien yang lebih tinggi. [2]

Penelitian ini merujuk pada beberapa penelitian sebelumnya diantaranya *solar tracker system*. Tahun 2015 penelitian mengenai “*Design and implementation of active two axis solar tracking system using particle swarm optimization based fuzzy logic controller*” [1]. Penelitian tersebut menggunakan mekanisme kontrol *fuzzy* – PSO untuk memperbaiki tingkat akurasi penjejakan. Pengembangan yang dilakukan dengan melakukan modifikasi model fungsi keanggotaan *fuzzy* melalui penentuan batas-batas fungsi keanggotaan masukan *fuzzy* yang diperbarui berdasarkan fungsi objektif. [1] Penelitian ini memiliki kelemahan yaitu kurang maksimalnya efisiensi yang dihasilkan karena masih acaknya tingkat akurasi penjejakan yang dihasilkan.

J. Prasanth Ram dkk juga telah melakukan studi untuk memperbaiki tingkat akurasi penjejakan. Dalam penelitian tersebut, untuk melakukan penjejakan secara cepat pada panel surya dilakukan dengan menggunakan metode *modified particle swarm optimization*. *Modified* yang dilakukan adalah merubah PSO menjadi linear. Hasil dari studi tersebut mengatakan bahwa MPPT dengan menggunakan metode LPSO memiliki tingkat efisien yang lebih tinggi daripada metode PSO. [3]

Di lain sisi, Michael linda dkk melakukan studi mengenai panel *photovoltaic* ber-*reflektor*. Dalam studi tersebut diperoleh hasil bahwa menambahkan *reflector* pada panel *photovoltaic* yang dipasang pada kemiringan tertentu akan meningkatkan efisiensi jauh lebih baik [4]. Oleh karena itu, untuk mengatasi permasalahan tersebut maka diciptakan suatu perangkat yang dapat memaksimalkan daya yang dihasilkan oleh *photovoltaic* dengan piranti *active two axis solar tracker* dengan *reflector* menggunakan kontrol *modified particle swarm fuzzy*.

1.2 Permasalahan

Berdasarkan latar belakang maka permasalahan yang diangkat dalam pengerjaan penelitian ini, yaitu :

- a. Bagaimana menentukan parameter perancangan *active solar tracker*

- b. Bagaimana menentukan parameter kontrol *modified particle swarm fuzzy*
- c. Bagaimana kinerja *active solar tracker* dengan reflektor menggunakan kontrol *modified particle swarm fuzzy*

1.3 Batasan Masalah

Adapun batasan masalah yang digunakan dalam pengerjaan penelitian ini adalah sebagai berikut :

- a. *Photovoltaic* yang digunakan adalah jenis monokristalin dengan daya 250 WP.
- b. Variabel proses yaitu sudut *pitch* dan sudut *yaw*
- c. Tidak membahas tentang konsumsi daya sistem elektrik pada hasil prototipe.
- d. Tidak membahas sampai sistem penyimpanan listrik.
- e. Lokasi uji dilakukan di ITS
- f. Menggunakan dua *fixed reflector*
- g. Kontroller yang digunakan adalah *multi input single output* (MISO)
- h. *Modified particle swarm optimization* menggunakan pendekatan linier.

1.4 Tujuan Tugas Akhir

Tujuan penelitian yang ingin dicapai dalam pengerjaan tugas akhir ini antara lain.

- a. Mengimplementasikan metode kontrol *modified particle swarm fuzzy* pada *active solar tracker* dengan reflektor
- b. Mendapatkan peningkatan performansi dari penggunaan kontrol *modified particle swarm fuzzy* pada *active solar tracker* dua sumbu

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 PENELITIAN**

Pada bab III ini berisi mengenai rancangan dari penelitian yang dilakukan, metode dan langkah-langkah dalam penelitian.

4. **BAB IV ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN**

Pada bab IV ini berisi tentang analisa hasil perancangan sistem *mobile active solar tracker* dua sumbu menggunakan *MPSO-fuzzy*

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.

c.

BAB II

DASAR TEORI

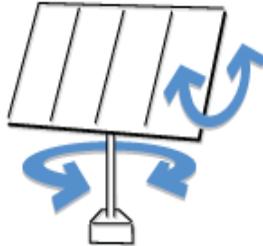
Penelitian mengenai sistem penjejak matahari telah banyak dikembangkan baik dari segi mekanisme penjejakan, sumbu rotasi maupun sistem kontrol yang digunakan. Penelitian ini merujuk pada penelitian yang telah dilakukan sebelumnya oleh Imam Abadi [3]. Penelitian tersebut menggunakan sistem kontrol PSO berbasis logika *fuzzy* dengan mekanisme penjejakan aktif dan 2 sumbu rotasi atau putar. Penelitian tersebut terbatas hanya untuk sistem yang tidak bergerak, padahal dengan nilai efisiensi energi yang dicapai besar seharusnya dapat dikembangkan dan dimanfaatkan untuk sebuah sistem yang bergerak misalnya mobil surya. Sistem penjejak matahari yang dikembangkan pada penelitian ini menggunakan sistem penjejakan aktif dan dua sumbu rotasi serta menerapkan sistem bergerak atau *mobile*, oleh karena itu beberapa kajian pustaka yang mendukung penelitian dibahas pada bab ini.

2.1 Solar Tracker

Solar tracker atau pelacak matahari merupakan suatu gabungan sistem yang terdiri dari beberapa komponen penyusun seperti sensor, aktuator, logika kontrol dan PV. *Solar tracker* dirancang agar mampu mendeteksi dan mengikuti arah matahari sehingga posisi PV selalu tegak lurus dengan matahari. Posisi PV yang selalu tegak lurus dengan matahari akan meningkatkan daya keluaran dari PV. Sistem pelacak matahari terdiri dari beberapa jenis dan dapat diklasifikasikan menurut jumlah sumbu rotasi. Berdasarkan jumlah sumbu rotasi sistem pelacak matahari terklasifikasikan menjadi satu sumbu rotasi atau sumbu tunggal dan dua sumbu rotasi [2]

Sistem pelacakan sumbu tunggal yang ditunjukkan pada pergerakan sudut *pitch* atau yaw, dimana salah satu gerakan yang diinginkan tergantung pada teknologi yang digunakan pada sistem *solar tracker*. Sudut *pitch* adalah sudut ketinggian matahari diukur

dari arah vertikal, sedangkan sudut yaw merupakan arah kompas matahari yang diukur dari arah utara dan berputar searah jarum jam.



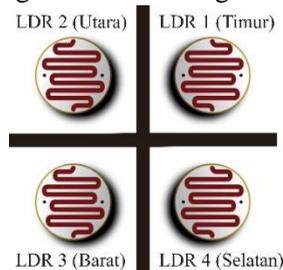
Gambar 2.1 *Solar Tracker* dua sumbu [3]

Sistem pelacak matahari juga dapat dibedakan berdasarkan mekanisme pelacakan matahari yaitu pasif dan aktif. Sistem pelacak matahari pasif dalam proses penjejakannya tidak melakukan pengukuran langsung terhadap besaran fisis dari objek yaitu matahari melainkan menggunakan perhitungan astronomi yaitu berupa data posisi matahari. Sistem pelacak matahari aktif menggunakan sebuah sensor untuk mengukur besaran fisis dari objek yaitu matahari. [2]

Active solar tracker dalam implementasinya menggunakan sistem lup tertutup dan menggunakan sensor elektronik untuk mendeteksi posisi dari matahari. Sensor elektronik yang sering digunakan pada *active solar tracker* adalah jenis sensor *electropitital sensor*, yaitu sebuah transduser yang mampu mengubah intensitas penyinaran sinar matahari menjadi perubahan nilai resistansi. Hasil dari sensor tersebut akan ditransmisikan oleh motor listrik sebagai penggerak matahari yang perputarannya dikendalikan oleh kontroller berdasarkan masukan dari sensor tersebut.

Penggunaan sensor *electropitital sensor* atau yang biasa dikenal dengan sensor LDR jumlah yang digunakan bergantung pada sumbu yang ada pada *solar tracker* tersebut. Imam Abadi dkk

pada kasus 2 sumbu menggunakan 4 jenis sensor ldr yang arah peletakkannya sesuai dengan arah mata angin ada.

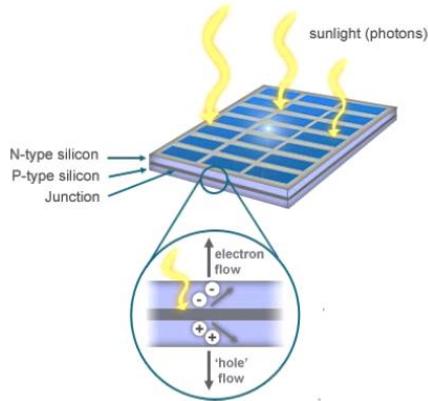


Gambar 2. 2 Posisi Letak LDR

2.2 Panel Surya (PV)

Panel surya atau biasa dikenal dengan sebutan *photovoltaic* adalah sebuah modul yang terdiri dari beberapa susunan sel surya. Sel surya adalah alat yang mengubah energi cahaya menjadi listrik. Sel surya pada umumnya merupakan sebuah hamparan semi konduktor yang dapat menyerap foton dari sinar matahari dan mengubahnya menjadi listrik. Panjang gelombang yang dipancarkan sinar matahari berkisar 250 nm sampai dengan 2500 nm, dengan panjang gelombang tersebut sel surya memiliki *absorber* yang mampu menyerap sebanyak mungkin radiasi matahari dan mengubahnya menjadi energi listrik. Gambar 2.1 menunjukkan proses penyerapan cahaya matahari oleh sel surya. [3]

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. Besarnya energi matahari yang diterima oleh sel surya [3]



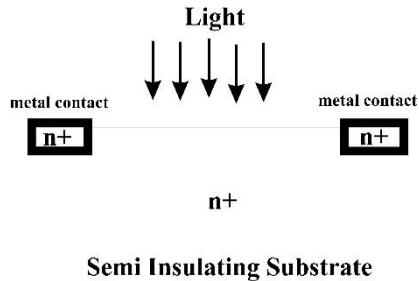
Gambar 2. 3 Prinsip Kerja Sel Surya [3]

2.3 *Light Dependent Resistor (LDR)*

Sensor LDR adalah 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 peka cahaya yang terdapat pada sensor LDR ditanam pada sebuah substrat isolator. Material ini disusun dengan pola zigzag seperti gambar 2.4 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 [4] .

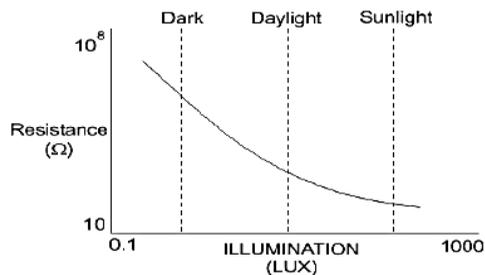
Sensor LDR memiliki karakteristik statik yang unik, hal ini terlihat pada sifat sensitif yang dimiliki sensor tersebut terhadap adanya perubahan intensitas cahaya. Prinsip kerja LDR adalah fenomena optis dimana konduktivitas material akan meningkat ketika menyerap berkas cahaya. Berkas cahaya tersebut akan menyebabkan elektron-elektron pada pita valensi akan tereksitasi

pada pita konduksi, sehingga akan menyebabkan adanya pembangkitan pergerakan muatan listrik pada simpul-simpul material LDR.



Gambar 2. 3 Kontruksi LDR [1]

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. Ketika permukaan LDR terkena oleh intensitas cahaya, dibutuhkan waktu 8-12 ms untuk memberikan respon berupa perubahan nilai resistansinya dan akan kembali kepada nilai semula dalam periode waktu yang sama. Fenomena yang terjadi tersebut dikenal dengan istilah *resistance recovery time*.



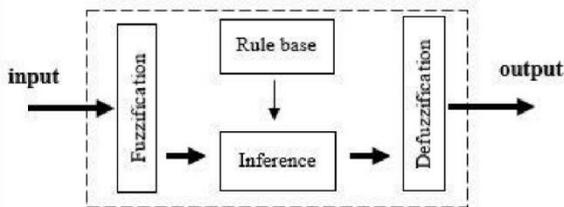
Gambar 2. 4 Grafik *Input Output* LDR [1]

2.4 Sistem 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 logika *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 yaitu berikut [9]



Gambar 2. 5 Sistematika *fuzzy logic controller* [7]

Fungsi dari bagian-bagian diatas adalah sebagai berikut:

1. *Input*

Input atau masukkan pada *fuzzy logic* berupa *crisp* (variabel fisis) atau bilangan *real*. Masukan 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.

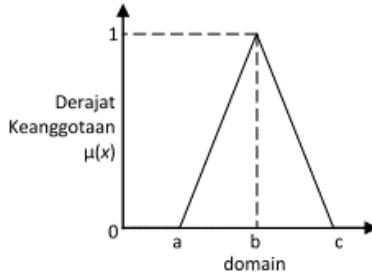
Dalam implementasinya, himpunan *fuzzy* dapat dikarakteristikan seluruhnya melalui fungsi keanggotaannya. Fungsi keanggotaan pada satu dimensi dapat dipresentasikan kedalam 4 bentuk, seperti

1. Fungsi keanggotaan segitiga

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

$$\left. \begin{aligned} \mu[x] &= 0; x \leq a \text{ atau } x \geq c \\ \mu[x] &= \frac{(x-a)}{(b-a)}; a < x \leq b \\ \mu[x] &= \frac{(c-x)}{(c-b)}; b < x \leq c \end{aligned} \right\} (2.1)$$

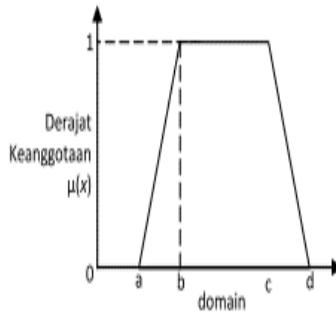
$$\mu[x] = \max\left(\min\left(\frac{(x-a)}{(b-a)}, \frac{(c-x)}{(c-b)}\right), 0\right) \quad (2.2)$$



Gambar 2. 6 Fungsi Keanggotaan Segitiga [7]

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 [7]

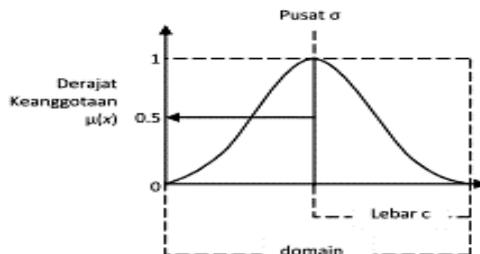
$$\left. \begin{aligned} \mu[x] &= 0; x \leq a \text{ atau } x \geq c \\ \mu[x] &= \frac{(x-a)}{(b-a)}; a < x \leq b \end{aligned} \right\} \quad (2.3)$$

$$\left. \begin{aligned} \mu[x] &= 1; & b \leq x \leq c \\ \mu[x] &= \frac{(d-x)}{(d-b)}; & c < x \leq d \\ \mu[x] &= \max\left(\min\left(\frac{(x-a)}{(b-a)}, 1, \frac{(d-x)}{(d-c)}\right), 0\right) \end{aligned} \right\} \quad (2.4)$$

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

$$\mu[x] = e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{x-c}{\sigma}\right)^2} \quad (2.5)$$

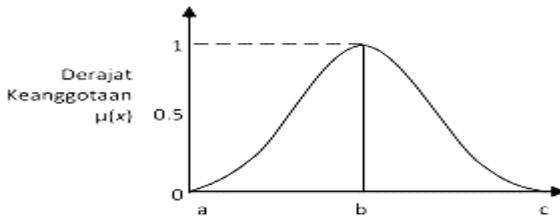


Gambar 2. 8 Fungsi Keanggotaan Gaussian [7]

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

$$\mu[x] = \frac{1}{1 + \left|\frac{x-c}{a}\right|^{2b}} \quad (2.6)$$



Gambar 2. 9 Fungsi Keanggotaan Generalized bell [7]

2.5 Particle Swarm Optimization

Particle swarm optimization, atau yang lebih dikenal dengan PSO, merupakan metode kecerdasan buatan (*artificial intelligence*) yang mengadopsi perilaku sekumpulan serangga, seperti semut, rayap, lebah, atau burung .[8] Perilaku sosial organisme ini baik yang dilakukan secara individu maupun kelompok, dijadikan sebagai dasar perancangan algoritma PSO. Pada terminologi PSO dikenal beberapa istilah untuk menjelaskan konsep dasar dan prinsip kerja dari metode ini yaitu:

- a) *Swarm* menyatakan kelompok individu (populasi) dari algoritma.
- b) *Particle* adalah individu di dalam sebuah populasi yang bergerak bersama-sama dengan individu-individu lainnya menuju tujuan yang sama.
- c) *Generation* merupakan keadaan dari sebuah populasi yang dievaluasi dan diperbaharui berdasarkan fungsi objektifnya (fitness).
- d) *Fitness* yaitu sebuah fungsi yang menyatakan jejak-jejak posisi di dalam ruang pencarian sebagai solusi nilai terbaik.
- e) *Pbest* adalah nilai terbaik dari sebuah individu.
- f) *Gbest* menyatakan nilai terbaik untuk semua individu di dalam sebuah populasi.

Kawanan burung mengoptimasikan fungsi objektif tertentu dengan cara saling bertukar informasi untuk memperoleh hasil

terbaik. Nilai terbaik yang pernah dicapai (*pbest*) merupakan analogi dari pengalaman masing-masing agen. Nilai terbaik pada kawanan diantara *pbest* (*gbest*) merupakan analogi dari pengetahuan bagaimana perlakuan terbaik dari agen lainnya. Tiap agen akan mengubah posisinya berdasarkan posisi terakhir (x,y), kecepatan terakhir (x,y), jarak antara posisi terakhir dengan *pbest*, dan jarak antara posisi terakhir dengan *gbest*. Perubahan kecepatan ini direpresentasikan melalui persamaan (2.13) dibawah ini [8]:

$$v_i^{k+1} = \omega v_i^k + c_1 rand_1 \times (pbest_i - s_i^k) + c_2 rand_2 \times (gbest - s_i^k) \quad (2.7)$$

dimana:

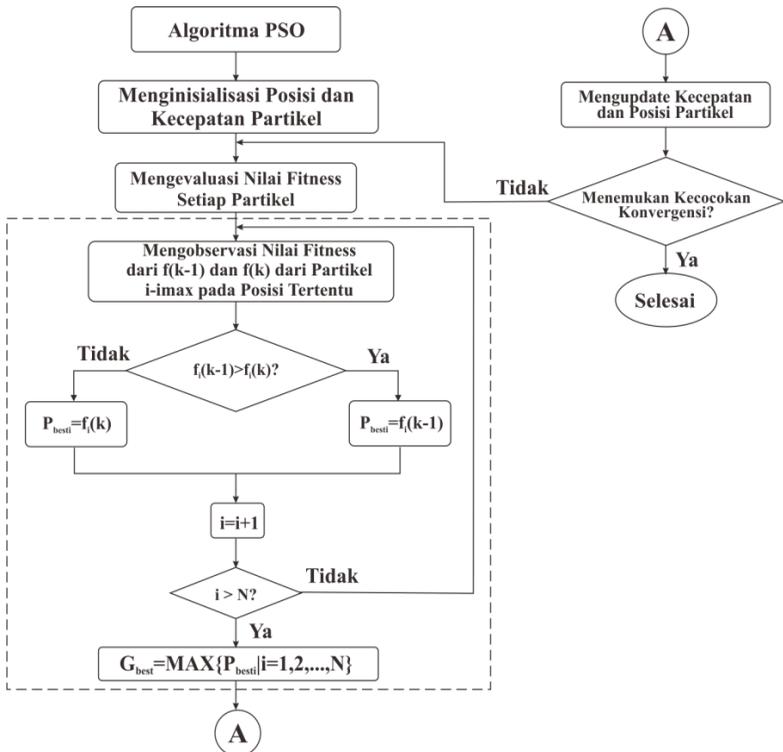
- v_i^k : kecepatan agen i pada iterasi k
- ω : fungsi pemberat (*inertia*)
- c_i : faktor pemberat ke- i
- $rand$: nilai acak antara 0 dan 1
- s_i^k : posisi terakhir agen i pada iterasi k
- $pbest_i$: best dari agen i
- $gbest$: nilai *pbest* terbaik dari kawanan

Pada setiap iterasi, nilai fungsi pemberat di-update melalui persamaan (2.14) [8]:

$$\omega = \omega_{max} - \frac{\omega_{max} - \omega_{min}}{iter_{max}} \times iter \quad (2.8)$$

dimana:

- ω_{max} : nilai pemberat (*inertia*) awal
- ω_{min} : nilai pemberat (*inertia*) akhir
- $iter_{max}$: jumlah iterasi maksimum
- $iter$: jumlah iterasi terakhir



Gambar 2. 10 Diagram Alir PSO [8]

Gambar 2.10 merupakan diagram alir optimasi PSO dimana metode PSO akan dibagi menjadi 5 tahapan. Tahap pertama adalah *PSO Initialitation*. *Particle* secara random akan berinisialisasi sesuai dengan distribusi pada ruang pencarian (*search space*) dengan kecepatan awal ditentukan secara random Tahap selanjutnya yaitu *Fitness Evaluation* dengan cara mengevaluasi nilai *fitness* dari setiap partikel. Tahap ketiga adalah *update individual and Global Best Data* dengan cara membandingkan perhitungan nilai *fitness* yang baru dengan nilai *fitness* yang sebelumnya dan mengganti P_{best} dan G_{best} sesuai dengan posisi yang

dibutuhkan. Tahap keempat adalah memperbarui kecepatan dan posisi setiap partikel Dan tahap terakhir adalah *Convergence Determination* dengan cara *menge-check* kriteria dari *convergence* [9]

2.6 *Modified Particle Swarm Optimization*

Pengembangan optimasi PSO telah banyak dilakukan oleh para peneliti, salah satunya adalah Sharifah Lailee dkk yang meneliti perbandingan antara random PSO dengan Linear PSO sebagai suatu metode optimasi untuk menemukan urutan dari motif DNA. Hasil yang didapatkan dari penelitian tersebut adalah dengan menggunakan Linear PSO maka tingkat akurasi lebih tinggi akan tetapi waktu sedikit lebih lama dibandingkan dengan metode PSO [10]. Adapun modifikasi dari PSO terletak pada bobot inersia menjadi persamaan berikut

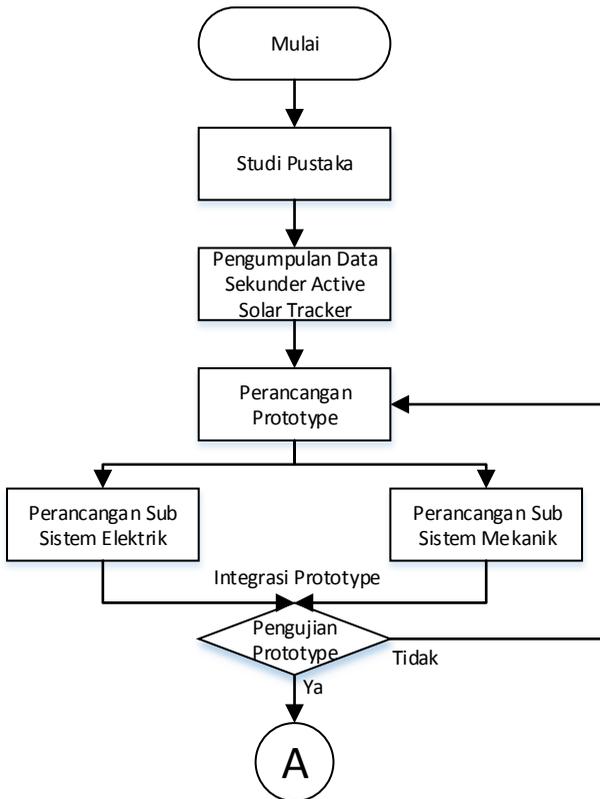
$$w = (w_{max} - w_{min}) \times \frac{iter_{max} - Iter}{iter_{max}} + w_{min} \quad (2.9)$$

Selain itu algoritma ini juga pernah diteliti oleh Cheng-Hong Yang, meneliti tentang strategi clustering data menggunakan optimasi Linear PSO dan hasilnya meningkat secara signifikan. [11]

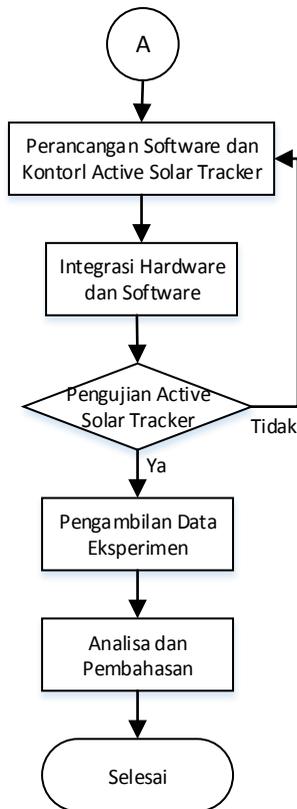
Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB III METODE PENELITIAN

Tahapan-tahapan dalam melakukan penelitian Tugas Akhir ini ditunjukkan pada gambar 3.1. Terdapat enam tahapan utama yang ada pada penelitian kali ini. Tahapan-tahapan tersebut secara rinci diuraikan dalam deskripsi berikut;



Gambar 3. 1 Diagram alir tahapan penelitian



Gambar 3. 2 Lanjutan

3.1 Studi Pustaka

Dalam tugas akhir studi pustaka 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 *active solar tracker*, metode

kendali *Modified particle swarm fuzzy* , pemodelan sistem, mekanik dan elektrifikasi hardware *active solar tracker*, pemrograman dari sistem kendali *Modified particle swarm fuzzy* serta sudut reflector untuk memperoleh peningkatan efisiensi secara signifikan.

3.2 Pengumpulan 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, serta tprsi dan data parameter elektrik seperti spesivikasi panel listrik, spesivikasi kontroller, spesivikasi motor DC dan sensor LDR

3.2.1 Spesifikasi PV

Pada penelitian Tugas Akhir ini, digunakan dua buah *Photovoltaic (PV)* yang digunakan secara bersamaan. Satu buah PV digunakan sebagai PV tracker yang dipasang pada *active solar tracker* dan satu buah sisanya digunakan sebagai PV yang diletakkan pada *fix based*. Adapun spesifikasi dari PV yang digunakan pada penelitian kali ini adalah sebagai berikut;

Tabel 3. 1 Spesifikasi Panel PV

Karakteristik Solar Panel Monokristalin (ST SOLAR)		
	PV Track	PV Fixed
Type	250-polycrystal	-
Pmax	250 W	250 W
Vmp	30 V	30 V
Imp	8,34 A	8,34 A
Voc	36,8 V	36,8 V
Isc	9 A	9 A
Dimensi	(1200x540x30) mm	(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. 2 Spesifikasi motor DC

DC Motor Built-in Gearbox		
	Motor Pitch	Motor Yaw
Working Voltage	DC 4.5V-32v	DC 4.5V – 18V
Arus	1.5 A	1.5A
Speed	500 rpm	200 rpm
Torsi	15 Kg.cm	3.6 Kg.cm
Dimensi body (cm)	P = 8,5 x d = 3,5	P = 10 x d = 6
Dimensi Shaft (cm)	P = 5 x d = 0,8	P = 3 x d = 0,5
Berat	0.7 gr	0.3 Kg

Tabel 3. 3 Spesifikasi driver motor DC

Driver Motor DC 15A Mosfet Dual H-Bridge	
V _{motor}	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
Support: PWM/PID/Fuzzy/Fuzzy PID	

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. 4 Spesifikasi sensor dan LDR

Sensing Element	
Sensor LDR	
Dimensi	4 mm
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. 5 Spesifikasi Arduino Mega 2560

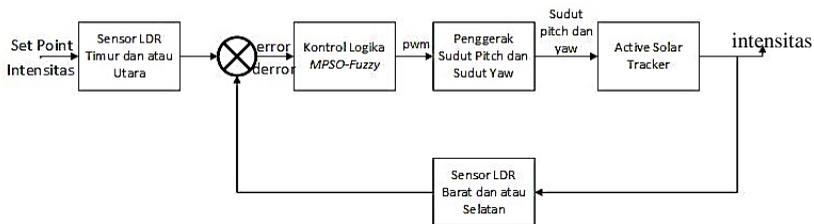
Chip mikrokontroller	Atmega 2560
Tegangan operasi	5V
Tegangan <i>input</i> (rekomendasi, via jack DC)	7V - 12V
Tegangan <i>input</i> (limit, via jack DC)	6V - 20V
Digital I/O pin	54buah, 6 diantaranya PWM output
Analog <i>input</i> pin	16 buah

Tabel 3.5 Spesifikasi Arduino (Lanjutan)

Arus DC per pin I/O	20 mA
Arus DC pin 3.3V	50 mA

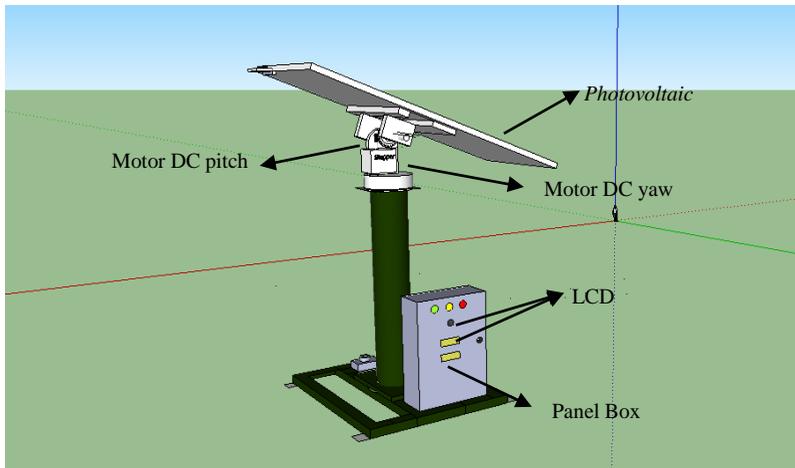
3.3 Perancangan *Solar Tracker*

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

**Gambar 3.3** Diagram Blok Solar Tracker

Perancangan *solar tracker* yang dilakukan terdiri dari dua tahap yaitu subsistem mekanik dan subsistem elektrikal. 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 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. Sedangkan bagian atas tersusun kerangka berbentuk balok panjang yang digunakan untuk menyangga PV panel dan kedua motor DC. Peletakkan posisi kedua motor DC di atas dengan mempertimbangkan torsi yang dibutuhkan baik untuk sumbu *pitch* maupun sumbu *yaw*. 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 1,40 m serta dimensi panjang dan lebar sebesar 0,3 m. Kerangka tampan atau

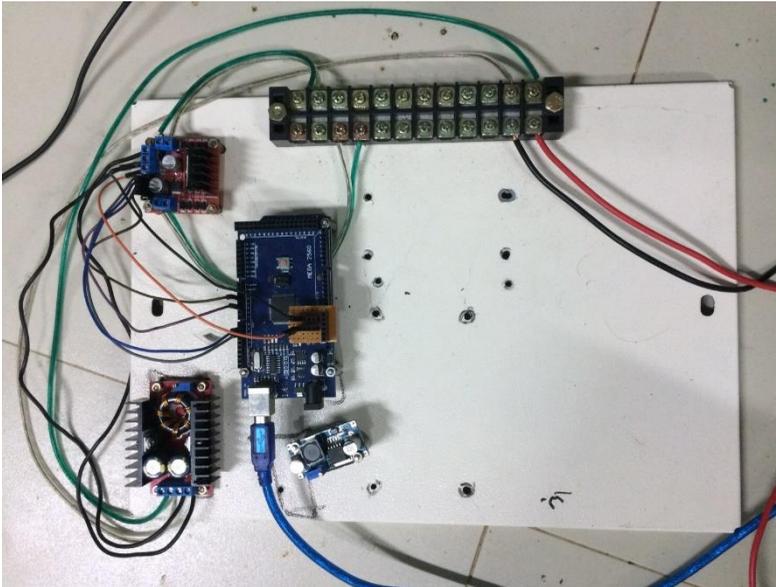
wadah yang digunakan untuk meletakkan PV panel memiliki dimensi panjang 1,70 m dan lebar 1,00 m. Berdasarkan perancangan tersebut, maka dibuatlah desain *prototype active solar tracker* menggunakan software *Sketch up* seperti yang terdapat pada gambar 3.4



Gambar 3. 4 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 standard yang dibutuhkan oleh *mikrokontroller*. Sementara itu, pada *mikrokontroller* arduino mega diisi dengan alhoritma fuzzy dengan *membership function* yang telah dioptimasi oleh optimasi particle swarm. 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. 5 Komponen Elektrik *Active Solar Tracker*

Komponen lain dari subsistem elektrik adalah sensor LDR yang terdiri dari 4 buah LDR, yaitu LDR utara, LDR selatan, LDR timur dan LDR barat. 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.

Subsistem *hardware* dan subsistem elektrik diintegrasikan kedalam sebuah *prototype active solar tracker* sehingga piranti tersebut dapat berjalan sesuai dengan yang diinginkan. Berikut

merupakan gambar *prototype active solar tracker* seperti yang ditunjukkan pada gambar 3.6



Gambar 3. 6 Prototipe active solar tracker

3.4 Pengujian Komponen

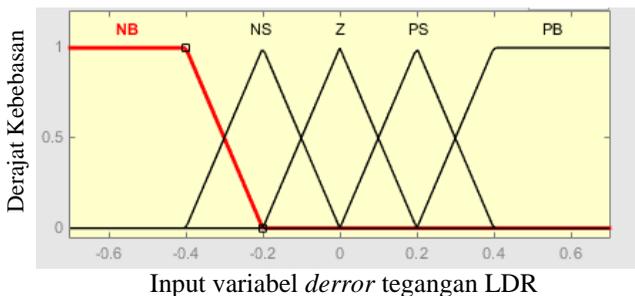
Pengujian komponen dilakukan dengan menguji kerja sensor, yaitu sensor arus ACS712-20A, sensor tegangan, sensor LDR, dua aktuator motor DC, dan performansi PV . Pengujian ini bertujuan untuk memastikan komponen yang digunakan berfungsi dan mengetahui karakteristik performansi serta pembacaan *hardware*

3.5 Perancangan Kontrol MPSO-Fuzzy

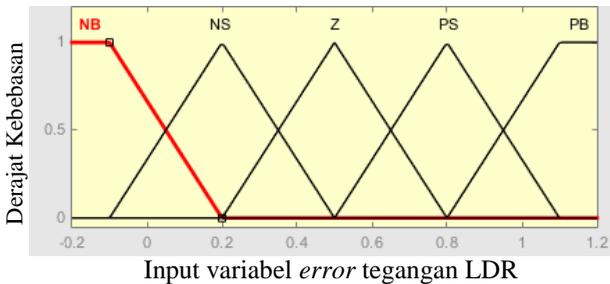
Langkah pertama perancangan kontrol *modified particle swarm optimization – Fuzzy* adalah dengan menyusun algoritma kontrol logika fuzzy yang memiliki dua buah *input* yaitu *error* dan *delta error* serta memiliki satu buah *output* berupa sinyal PWM. Seluruh kontrol logika fuzzy tersebut dirancang dan digunakan pada *active solar tracker* untuk mengendalikan kedua sumbu pada

piranti tersebut, yaitu sudut *pitch* dan sudut *yaw*. *Error* pada penelitian ini didefinisikan sebagai selisih perbedaan tegangan yang dihasilkan oleh dua buah sensor LDR yang bekerja pada sumbu tersebut. Untuk sumbu *pitch* kontrol yang digunakan menggunakan *error* dari LDR barat dan LDR timur, sedangkan untuk sumbu *yaw* kontrol yang digunakan menggunakan *error* dari LDR utara dan LDR selatan. Delta *error* merupakan perbedaan yang terjadi antara *error* sekarang dibandingkan dengan *error* yang terjadi sebelumnya.

Pada penelitian kali ini kontrol logika fuzzy yang digunakan adalah tipe sugeno. Tipe sugeno dipilih karena pada penelitian kali ini *output* yang ingin dicapai adalah keluaran sinyal PWM sehingga tipe tersebut cocok untuk digunakan pada plant ini. Sementara itu, fungsi keanggotaan *input* fuzzy yang digunakan adalah kombinasi antara fungsi trapesium dan segitiga dengan jumlah *membership function* yang terlibat sebanyak lima buah dengan rincian 2 buah tersusun dari fungsi trapesium dan tiga buah tersusun dari fungsi segitiga. Berdasarkan data-data diatas, nilai *input error* dan delta *error* dipetakan ke dalam lima bilangan fuzzy *input* yaitu *Negative Big (NB)*, *Negative Small (NS)*, *Zero (Z)*, *Positive Small (PS)*, *Positive Big (PB)*. Gambar 3.7 merupakan gambar dari fungsi keanggotaan *input* logika fuzzy baik *input error* maupun *input delta error*.

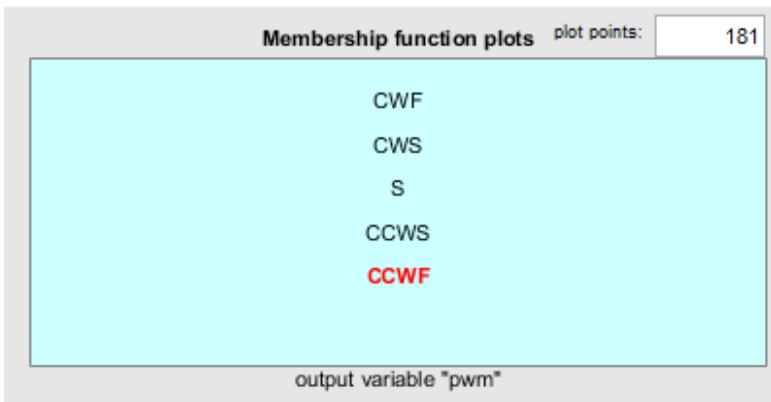


(a)



(b)

Gambar 3. 7 Fungsi Keanggotaan Fuzzy (a) *deltaerror* (b) *error*



Gambar 3. 8 Fungsi Keanggotaan *Output Fuzzy*

Gambar 3.8 Menjelaskan tentang fungsi keanggotaan *output fuzzy*. PWM merupakan singkatan dari *pulse width modulation* adalah sebuah cara untuk memanipulasi lebar sinyal sesuai dengan yang diinginkan. Pada penelitian ini, sinyal PWM yang dihasilkan memiliki rentang antara -255 sampai +255 dengan jumlah fungsi keanggotaan *output* sebanyak lima buah yaitu *Counter ClockWise Fast (CCWF)*, *Counter ClockWise Slow (CCWS)*, *Stop (S)*, *ClockWise Slow (CWS)* dan *ClockWise Fast (CWF)*.

Bilangan *input crisp* yang dinyatakan dalam fungsi keanggotaan fuzzy akan diolah dalam *inference engine* yang

memiliki prinsip sebab akibat (IF..THEN). Didalam *inference engine* terdapat *Rule base* yang berfungsi untuk mengatur keluaran dari fuzzy sesuai masukan yang diterima oleh sistem. *Rule base* merupakan sekumpulan aturan sebab-akibat yang diperuntukkan mengambil keputusan akhir dari logika fuzzy. Dengan *input* dan *output* yang telah dijelaskan sebelumnya, *input fuzzy error* dan *delta error* serta *output PWM* maka dapat dirancang *rule base* sebanyak 25. Hal itu didasari karena sistem mempunyai 2 *input* dimana masing-masing *input* berisikan 5 MF dan 1 *output* yang juga berisikan 5 MF.

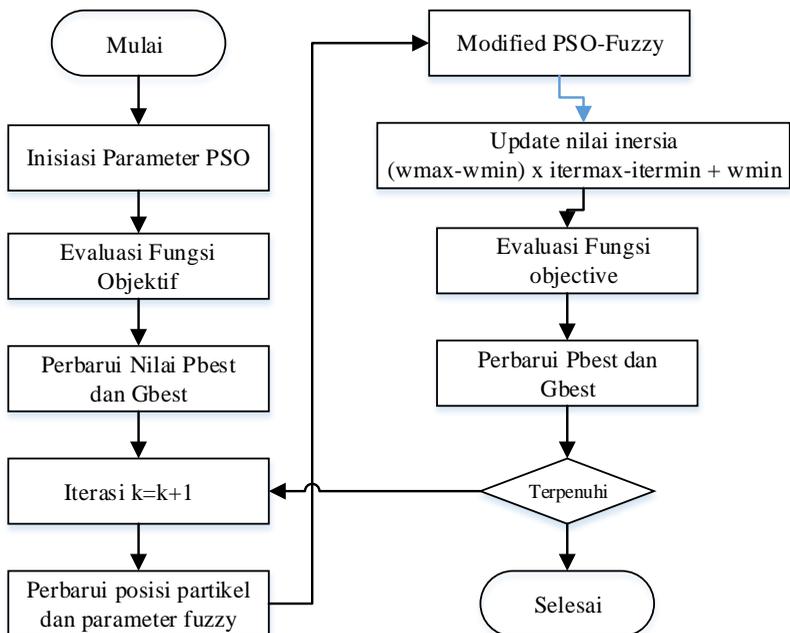
Tabel 3. 6 Rule base *Modified Particle Swarm Fuzzy*

		de				
		NB	NS	Z	PS	PB
e	NB	CCWF	CCWF	CCWS	CCWS	S
	NS	CCWF	CCWS	CCWS	S	CWS
	Z	CCWS	CCWS	S	CWS	CWS
	PS	CCWS	S	CWS	CWS	CWF
	PB	S	CWS	CWS	CWF	CWF

Jika perancangan kontrol logika fuzzy telah selesai dilakukan, langkah selanjutnya adalah penyusunan algoritma *modified particle swarm optimization (MPSO)* untuk mengoptimasi fungsi keanggotaan *input* dari kontrol logika fuzzy tersebut dengan menggunakan fungsi objective berupa nilai *mean square error (MSE)*. MSE adalah suatu metode untuk mengukur tingkat keakuratan dengan mempresentasikan rata-rata kesalahan kuadrat. Semakin kecil MSE yang dihasilkan maka akan semakin konstan nilai yang diperoleh.

Gambar 3.9 mempresentasikan diagram alir algoritma *modified particle swarm optimization fuzzy (MPSO-Fuzzy)*. Algoritma tersebut dimulai dengan memberikan nilai awal parameter MPSO-Fuzzy yang meliputi ukuran *swarm*, iterasi

maksimum, faktor inersia, *social rate* dan *cognitive rate*. Setelah seluruh parameter ditentukan, langkah selanjutnya adalah dilakukannya evaluasi fungsi objective serta memperbarui nilai P_{best} dan G_{best} . Pada iterasi selanjutnya, perhitungan posisi masing-masing dilakukan kemudian memperbarui parameter fuzzy (rentang fungsi keanggotaan fuzzy) serta mengevaluasi fungsi objective dan mengupdate nilai P_{best} dan G_{best} . Setelah iterasi maksimum terpenuhi maka simulasi akan berhenti dan begitupun seterusnya. Adapun nilai awal parameter MPSO-fuzzy ditunjukkan pada tabel 3.7. Proses optimasi algoritma MPSO-Fuzzy akan berlangsung secara otomatis pada *software MATLAB* dan hasilnya akan diupdate sesuai dengan parameter fuzzy (rentang fungsi keanggotaan fuzzy) yang telah dibuat



Gambar 3. 9 Langkah Optimasi PSO

Tabel 3. 7 Nilai Awal Parameter Optimasi

Parameter	Nilai
Ukuran <i>swarm</i>	30
Iterasi Maksimum	100
Faktor Inersia Min	0,4
Faktor Inersia Max	0,9
<i>Social rate</i>	2
<i>Cognitive rate</i>	2

Tabel 3. 8 Parameter *input* yang dioptimasi

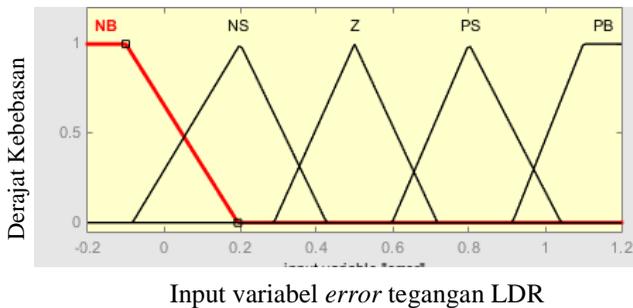
Bilangan Fuzzy	Nilai parameter <i>input</i> yang dioptimasi	
	<i>error(e)</i>	delta <i>error (de)</i>
NB	[-1; -0.1; 0.2]	[-1 -0.4 -0.2]
NS	[-0.1; 0.2; 0.5]	[-0.4 -0.2 0]
ZE	[0.2; 0.5; 0.8]	[-0.2 0 0.2]
PS	[0.5; 0.8; 1.1]	[0 0.2 0.4]
PB	[0.8; 1.1; 2]	[0.2 0.4 1]

Tabel 3. 9 Parameter *input* hasil optimasi

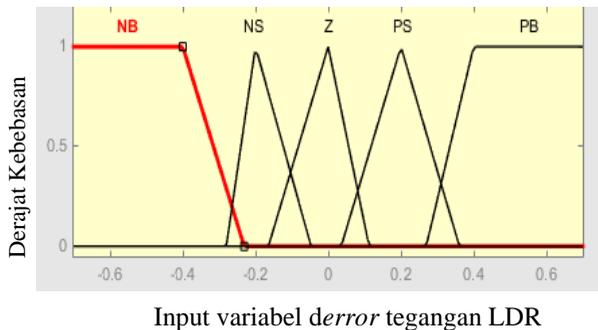
Bilangan Fuzzy	Nilai parameter <i>input</i> hasil dioptimasi	
	<i>error(e)</i>	delta <i>error (de)</i>
NB	[-1 -0.1 0.1941]	[-1 -0.4 -0.2311]
NS	[-0.0826 0.2 0.4269]	[-.2804 -0.2 -0.012]
ZE	[0.2882 0.5 0.7176]	[-0.2645 0 0.2234]
PS	[0.5983 0.8 1.042]	[0.0356 0.2 0.3608]
PB	[0.9139 1.1 2]	[0.2694 0.4 1]

Tabel 3.8 menampilkan nilai parameter *input* fungsi keanggotaan fuzzy, dan tabel 3.9 menampilkan hasil nilai parameter

fungsi keanggotaan fuzzy setelah dioptimasi. Hasil rentang baru fungsi keanggotaan fuzzy untuk masing-masing bilangan, kemudian dimasukkan ke dalam *input* variabel fuzzy *error* dan *input* variabel delta *error*.



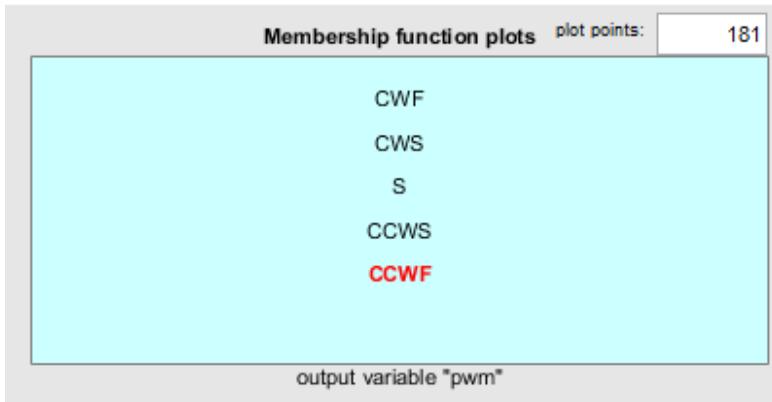
(a)



(b)

Gambar 3. 10 Membership Function hasil Optimasi (a) *error* (b) *deltaerror*

Gambar 3.10 merupakan membership function dari fuzzy logic setelah dilakukan optimasi dengan *modified particle swarm optimization*. Dari gambar tersebut terlihat bahwa perbedaan hanya terjadi pada batas-batas *membership function* dari pada sistem fuzzy tersebut.



Gambar 3. 11 Fungsi Keanggotaan *Output MPSO Fuzzy*

Gambar 3.11 menjelaskan tentang *output MPSO Fuzzy*. Hasil output dari *MPSO Fuzzy* tidak mengalami perubahan setelah dilakukan optimasi dengan menggunakan teknik optimasi MPSO.

BAB IV

ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN

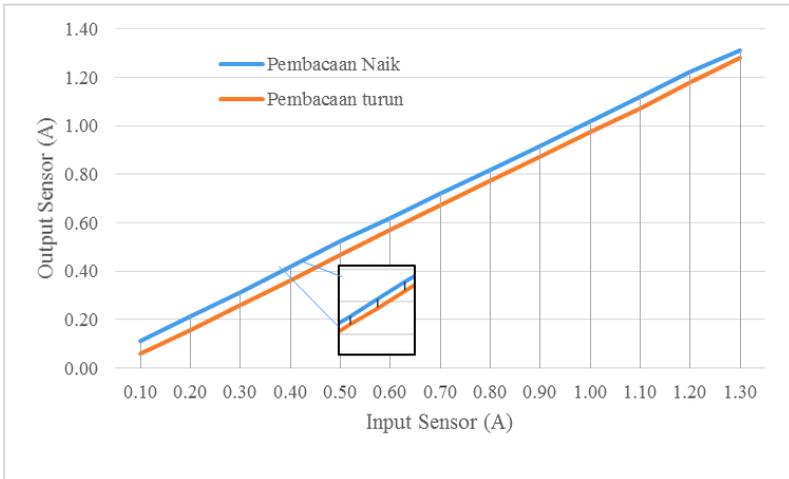
Pada tahapan ini berisikan tentang dua hal penting dalam penelitian kali ini. Adapun tahapan yang dimaksud adalah pengujian dan kalibrasi seluruh sensor yang digunakan dalam *active solar tracker* serta penjelasan hasil uji respon dari kontrol yang telah didesain pada bab sebelumnya.

4.1 Hasil Uji dan Kalibrasi Sensor Arus

Pada penelitian kali ini sensor arus yang digunakan adalah modul *ACS712-20A*. Modul sensor tipe ini menggunakan *input* berupa arus listrik dan memiliki *output* berupa arus. Pengujian sensor dilakukan untuk memastikan serta menjamin kelayakan dari sensor yang digunakan. Dalam hal ini dimaksudkan 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 histerisi 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 histerisi 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 gubungan 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 4.1

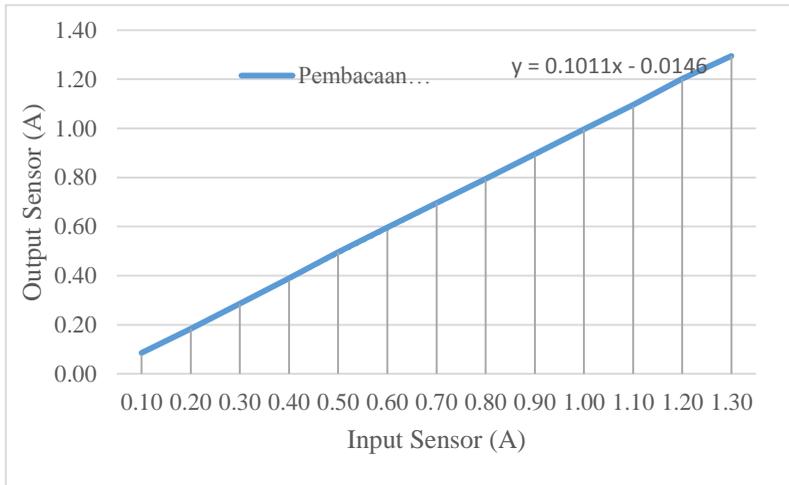


Gambar 4. 1 Grafik uji naik dan uji turun sensor ACS712

Berdasarkan hasil pengambilan data yang terdapat pada lampiran A diperoleh histerisis maksimum terjadi pada saat arus masukan sebesar 0,4A dan 0,5A dengan selisih pembacaan uji naik dan uji turun sensor sebesar 0,06A. Mengacu pada persamaan (4.1) maka diperoleh nilai histerisis sebesar 5% Sedangkan untuk hasil karakteristik linearitas digambarkan pada grafik seperti yang ditunjukkan pada gambar 4.2

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 (tipe B). Adapun pengertian ketidakpastian pengukuran adalah sebuah rentang nilai dimana nilai sebenarnya dari sebuah pengukuran tersebut diperkirakan berada.



Gambar 4. 2 Grafik Linearitas Sensor ACS712

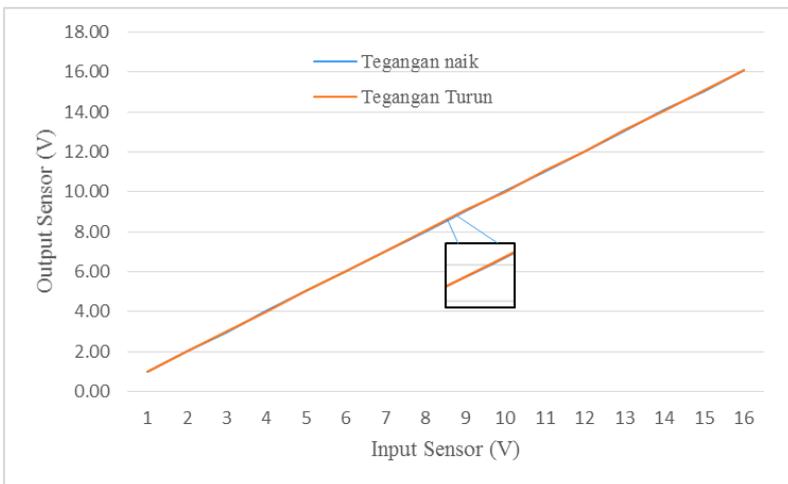
Dari hasil uji kalibrasi yang dilakukan, sebagaimana terlampir pada lampiran A didapatkan hasil ketidakpastian terbesar berada pada titik ukur 0,7A dengan nilai sebesar 0,00102. Pada titik ukur tersebut diperoleh pembacaan rata-rata sebesar 0,72A dan standard deviasi sebesar 0,00228. Sehingga dapat kita simpulkan bahwa hasil pengukuran sesungguhnya sensor ACS712 adalah $0,72 \pm 0,00228$ A dengan batas bawah sensor tersebut sebesar 0,718 A dan batas atas sebesar 0,722 A

4.2 Hasil Uji dan Kalibrasi Sensor Tegangan

Pada penelitian kali ini sensor tegangan yang digunakan adalah modul sensor tegangan 25 V. Modul sensor tipe ini menggunakan *input* berupa tegangan listrik dan memiliki *output* berupa tegangan. Pengujian sensor dilakukan 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 histerisi dan linearitas.

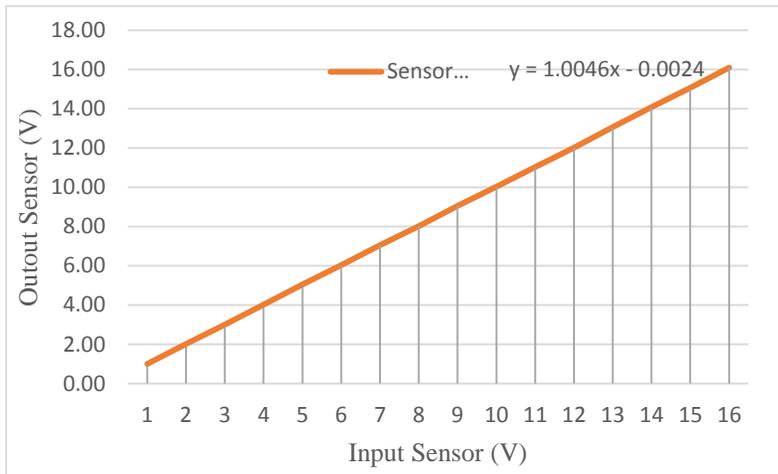
Setelah dilakukan pengambilan data didapatkan grafik hasil uji naik dan uji turun dari sensor tegangan 25V seperti yang ditunjukkan pada gambar 4.3



Gambar 4.3 Grafik Uji naik dan uji turun sensor tegangan

Berdasarkan hasil pengambilan data yang terdapat pada lampiran B diperoleh histerisis maksimum terjadi pada saat arus masukan sebesar 8V dan 13 dengan selisih pembacaan uji naik dan uji turun sensor sebesar 0,05V. Mengacu pada persamaan (4.1) maka diperoleh nilai histerisi sebesar 1%

Sedangkan untuk hasil karakteristik linearitas digambarkan pada grafik seperti yang ditunjukkan pada gambar 4.4



Gambar 4. 4 Linieritas sensor tegangan 25V

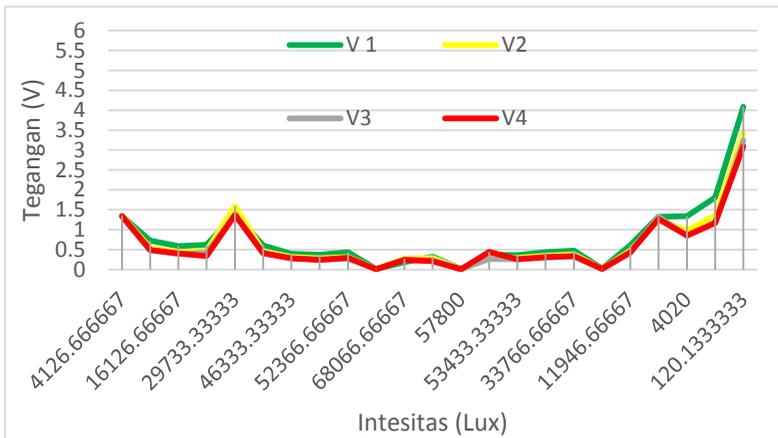
Setelah dilakukan uji sensor tegangan 25V, maka langkah selanjutnya adalah melakukan kalibrasi. Kalibrasi adalah membandingkan alat ukur uji dengan alat ukur yang telah memenuhi kriteria standart. Dalam penelitian kali ini sensor tegangan 25V dikalibrasi dengan DC power suply yang bertindak sebagai alat 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 B didapatkan hasil ketidakpastian terbesar berada pada titik ukur 12V dengan nilai sebesar 0,032249. Pada titik ukur tersebut diperoleh pembacaan rata-rata sebesar 12,03V dan standard deviasi sebesar 0,072. Sehingga dapat kita simpulkan bahwa hasil pengukuran sesungguhnya sensor tegangan 25V

adalah $12 \pm 0,072V$ dengan batas bawah sensor tersebut sebesar $11,928 V$ dan batas atas sebesar $12,072 V$

4.3 Hasil Uji Sensor LDR

Pada penelitian kali ini, pengujian sensor LDR dilakukan untuk menentukan karakteristik empat buah sensor LDR yang digunakan pada *active solar tracker*. Keempat LDR diletakkan sesuai dengan arah mata angin. LDR 1 dan LDR 3 diletakkan pada sudut *pitch* yaitu arah timur dan barat serta LDR 2 dan LDR 4 diletakkan sebagai sensor *yaw* yaitu arah utara dan arah selatan. Hasil pengujian sensor LDR dengan *input* maksimum sebesar 66833 lux dengan kondisi langit cerah berawan dapat dilihat seperti gambar dibawah ini



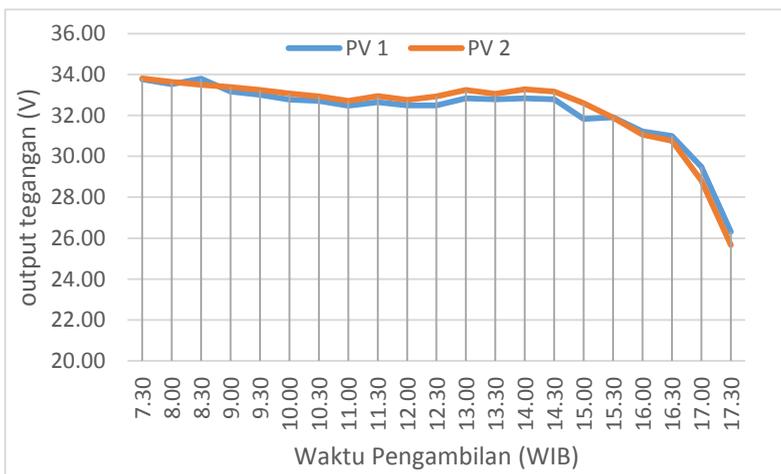
Gambar 4. 5 Karakteristik tegangan LDR

Gambar tersebut menunjukkan bahwa pola hubungan *input* – *output* LDR adalah nonlinear dengan perbandingan terbalik. Dengan kata lain semakin besar nilai intensitas yang diterima oleh LDR maka semakin kecil tegangan yang dihasilkan oleh LDR. Dari grafik tersebut nilai selisih rata-rata yang dihasilkan oleh LDR 1 dan LDR 3 sebesar $0,172V$ dengan nilai koreksi maksimum sebesar $0,851V$. Sedangkan nilai selisih rata-rata yang dihasilkan oleh LDR

2 dan LDR 4 sebesar 0,058 V dengan koreksi maksimum sebesar 0,0173. Dari data tersebut dapat kita simpulkan nilai koreksi dari setiap sensor untuk masing-masing sumbu tidak terlalu besar dan keempat sensor tersebut memiliki trend yang hampir serupa, sehingga sensor-sensor LDR tersebut dapat digunakan.

4.4 Hasil Uji Performansi *Photovoltaic*

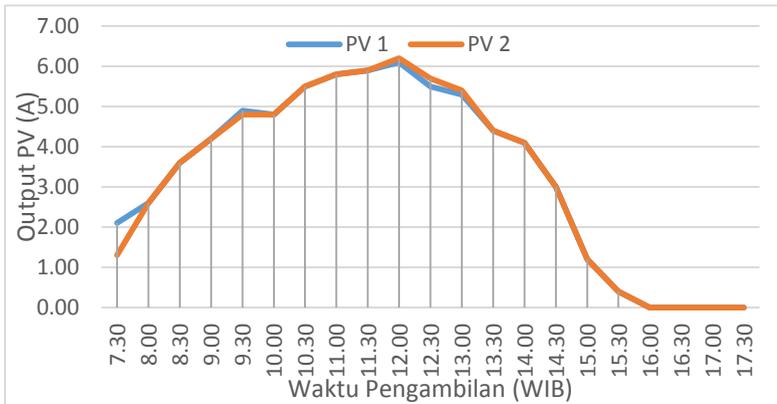
Pada penelitian tugas akhir kali ini, pengujian performansi *photovoltaic* diperlukan untuk mengetahui efisiensi energi yang dihasilkan oleh *photovoltaic* (PV). Pengujian performansi dilakukan dengan cara membandingkan nilai *output* berupa daya PV yang ditempatkan pada *tracker* (PV 1) dan *fix based* (PV 2). Untuk memperoleh *output* daya PV diperlukan dua variabel, yaitu besar nilai tegangan dan arus yang dihasilkan oleh PV. Pengujian ini dilakukan selama 12 jam dengan keadaan langit cerah dan dengan sampling pengambilan selama 30 menit. Pemilihan waktu sampling didasarkan pada pergerakan posisi matahari yang mengalami perubahan signifikan pada rentang 30 menit



Gambar 4. 6 Grafik Perbandingan *output* tegangan PV

Berdasarkan Gambar 4.6 terlihat bahwa *output* yang dihasilkan oleh pv yang digunakan pada *fix based* dan solar tracker

memiliki trend yang hampir sama. Perubahan tegangan kedua PV memiliki respon yang konsisten terhadap perubahan lingkungan. Adapun hasil simpangan terbesar dari grafik tersebut sebesar 0,77V yang terjadi pada pukul 15.00 WIB dan memiliki simpangan rata-rata 0,31 V



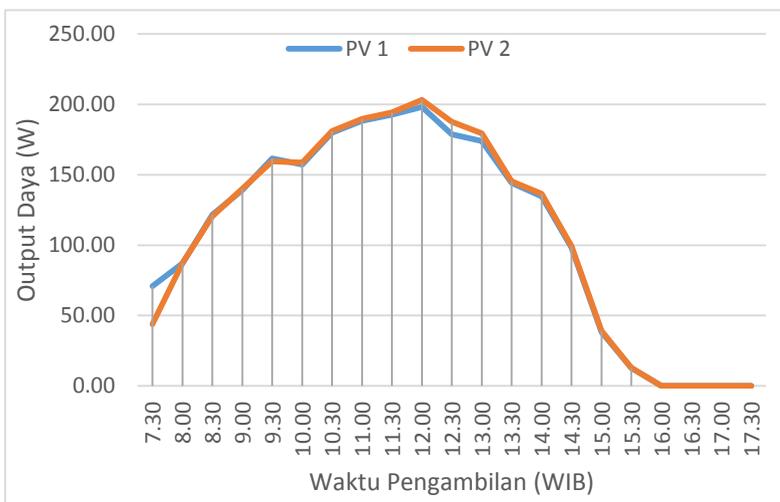
Gambar 4. 7 Grafik respon *output* uji performansi PV

Sedangkan untuk uji performansi arus PV ditunjukkan dengan grafik seperti gambar 4.7. Berdasarkan grafik diatas, kedua grafik PV tersebut memiliki trend yang hampir sama bahkan dapat dikatakan sama. Dari data tersebut diperoleh nilai simpangan terbesar sebesar 0,80A yang terjadi pada titik ukur pukul 7.30 WIB dan memiliki simpangan rata-rata yang relatif kecil yaitu sebesar 0,05A

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 12.00 WIB dengan daya maksimum untuk PV yang digunakan pada *fix based* sebesar 203,112 watt serta untuk PV yang digunakan pada tracker sebesar 198,13 Watt. Adapun simpangan maksimal yang dihasilkan dari

output daya PV sebesar 8,94 Watt yang terjadi pada pukul 12.00 WIB dan memiliki rata-rata simpangan sebesar 2,469 Watt

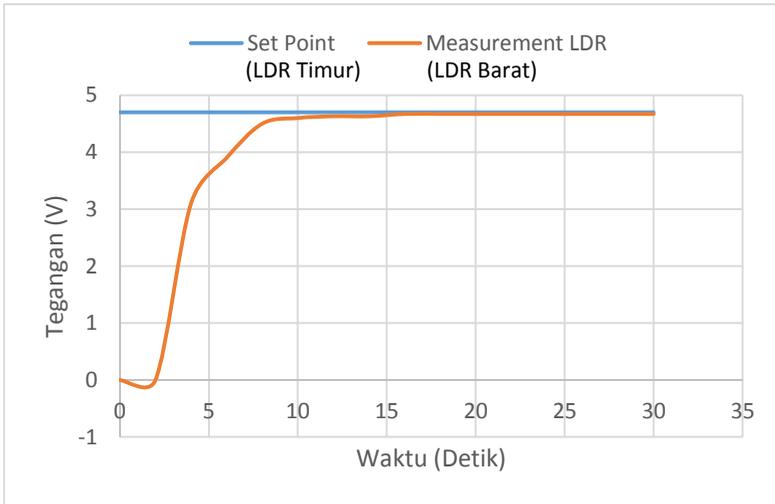
Dari hasil yang diperoleh maka dapat kita simpulkan bahwa performansi PV yang digunakan pada *fixbased* lebih besar dibandingkan dengan PV yang digunakan pada *tracker*. Hal ini dapat terjadi karena adanya efek gangguan atau *disturbance* dari lingkungan. Akan tetapi melihat hasil tersebut, perbedaan yang terjadi tidak terlalu besar sehingga dapat dijadikan sebagai komparator.



Gambar 4. 8 Grafik Uji Performansi Daya PV

4.5 Hasil Uji *Setpoint* Kontrol MPSO - Fuzzy

Pengujian *setpoint* 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.

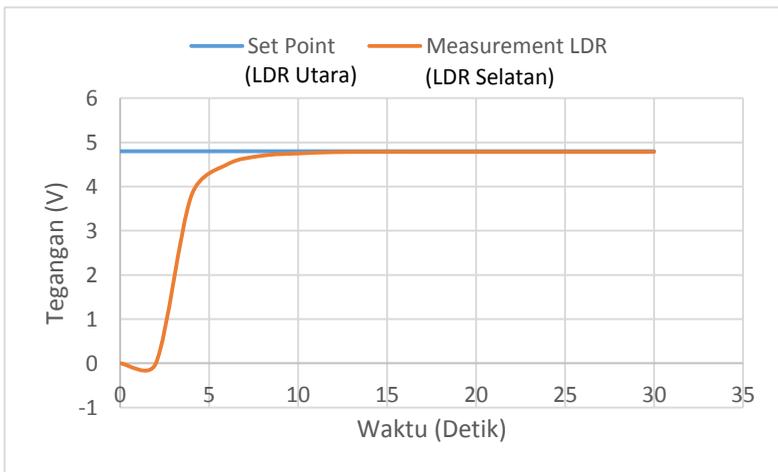


Gambar 4.9 Respon Uji *Set Point* Sudut *Pitch*

Gambar 4.9 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 timur yang difungsikan sebagai variabel proses lambat laun memiliki nilai yang sama dengan LDR utara yang difungsikan sebagai *set point*. Respon yang terjadi tidak mengalami overshoot sehingga arah putar motor *pitch* adalah searah. Pada detik ke nol sampai dengan detik kesatu pembacaan sensor bernilai nol karena sistem yang terjadi pada real plant membutuhkan delay. Selain itu, pada beberapa kondisi pasangan LDR barat dan LDR timur tidak benar-benar identik. Hal ini terlihat dari profil uji *setpoint* pada rentang detik ke enam hingga detik ke delapan.

. Pada uji *set point* sumbu *yaw*, pengambilan data dilakukan dengan cara memfungsikan LDR selatan sebagai *set point*. LDR utara difungsikan sebagai sensor variabel proses yang nantinya akan mempresentasikan posisi PV terhadap posisi matahari.

Gambar 4.10 menerangkan tentang grafik respon yang dihasilkan oleh gerak motor yaw akibat adanya perubahan *error* dan delta *error* tegangan LDR terhadap perubahan sudut *set point*. Berdasarkan grafik diatas LDR utara yang difungsikan sebagai variabel proses lambat laun memiliki nilai yang sama dengan LDR selatan yang difungsikan sebagai *set point*. Respon yang terjadi tidak mengalami overshoot sehingga arah putar motor yaw adalah searah. Pada detik ke nol sampai dengan detik kesatu pembacaan sensor bernilai nol karena sistem yang terjadi pada real plant memiliki delay.



Gambar 4. 10 Respon Uji *Set Point* Sudut Yaw

Berdasarkan kedua grafik profil respon uji *set point* kita dapat mengamati beberapa performansi yang dihasilkan oleh kedua sensro. Performansi yang dihasilkan oleh sensor meliputi *rise time*, *settling time*, *maximum overshoot* serta *error steady state*. Adapun Indeks Performansi yang dihasilkan oleh masing-masing sudut, baik sudut *pitch* maupun sudut *yaw* diterangkan pada tabel 4.1

Tabel 4. 1 Indeks Performansi Uji *Set Point*

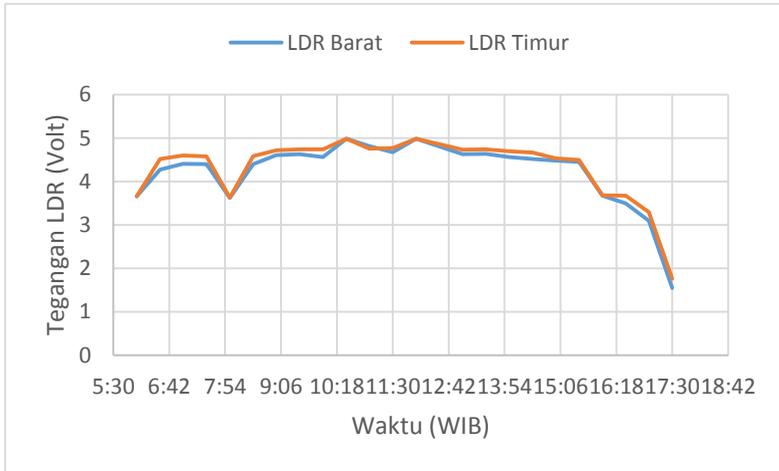
Parameter	Sudut <i>Pitch</i>	Sudut <i>Yaw</i>
Rise Time (detik)	7	4
Settling Time (detik)	9	6
MoV (%)	0	0
Ess (%)	0,63829	0,312
Waktu Ess (detik)	10	8

Berdasarkan tabel Performansi uji *set point* pada sudut *pitch* memiliki *error steady state* (Ess) sebesar 0,63829% sedangkan pada sudut *yaw* memiliki Ess sebesar 0,312%. *Error steady state* yang terjadi sudut *pitch* terjadi pada detik 10 dan sudut *yaw* terjadi pada detik 8. Sehingga dari hasil uji *set point* ini dapat kita simpulkan bahwa kontrol MPSO-*Fuzzy* pada eksperimen ini berjalan dengan baik karena nilai Ess kurang dari 5%

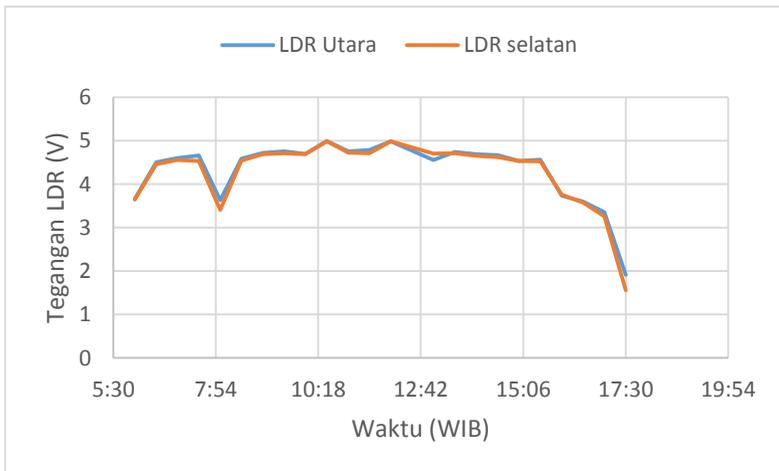
4.5 Hasil Uji *Tracking Setpoint* Kontrol MPSO-*Fuzzy*

Pada tahap ini dilakukan pengujian *tracking setpoint* kontrol MPSO-*Fuzzy* dalam melakukan penjejakan matahari pada sumbu *pitch* dan *yaw* yang diwakili oleh tegangan sensor LDR pada masing-masing sumbu dengan lama waktu pengujian selama 12 jam dimulai pukul 05.30 WIB hingga pukul 17.30 WIB. Saat pengujian dilakukan kondisi langit cerah tanpa awan. Hasil uji *tracking setpoint* kontrol MPSO-*fuzzy* dapat dilihat pada gambar 4.11 dengan pengambilan data antara tegangan sensor LDR barat dan sensor LDR Timur. Grafik profil tersebut meunjukkan tegangan yang dihasilkan oleh kedua sensor LDR tersebut memiliki *trend* yang realif hampir sama. Respon menunjukkan bahwa kedua sensor LDR memiliki nilai maksimum terjadi pada pukul 12.00 WIB dimana pada saat itu matahari tepat berada diatas dan posisi minimum terjadi pada pukul 17.30 WIB dimana matahari mulai tenggalam di sisi barat. Penyimpangan rata-rata yang terjadi antara sensor LDR barat dan sensor LDR timur sebesar 0,02 V. Berdasarkan pengamatan, pada pukul 08.00 WIB terjadi penurunan tegangan diantara kedua sensor LDR disebabkan

adanya penurunan tegangan referensi suplai daya untuk sensor LDR. Dari hasil perhitungan yang ada bahwa tingkat akurasi kedua sensor tersebut selama melakukan *tracking setpoint* sebesar 97,45%.



Gambar 4. 11 Respon Tegangan LDR sumbu *pitch*



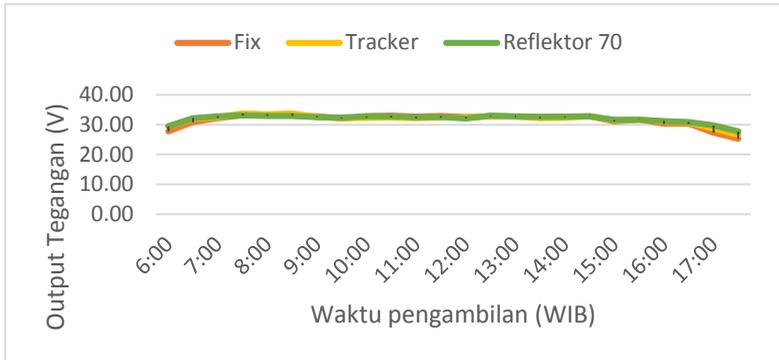
Gambar 4. 12 Respon Tegangan LDR sumbu *yaw*

Gambar 4.12 menampilkan respon tegangan yang dihasilkan sensor LDR pada sumbu yaw. Pada sumbu tersebut respon tegangan yang diuji adalah antara sensor LDR utara dan sensor LDR selatan, dimana melihat respon yang terjadi tegangan yang dihasilkan memiliki *trend* yang sama. Penyimpangan rata-rata yang dihasilkan oleh kedua sensor LDR tersebut relatif kecil yaitu sebesar 0,11 V. Berdasarkan pengamatan, pada pukul 08.00 WIB terjadi penurunan tegangan diantara kedua sensor LDR disebabkan adanya penurunan tegangan referensi suplai daya untuk sensor LDR. Dari hasil perhitungan yang ada bahwa tingkat akurasi kedua sensor tersebut selama melakukan *tracking setpoint* sebesar 98,83%.

Dengan nilai akurasi sebesar 97,45% pada sumbu *pitch* dan 98,83% pada sumbu *yaw* dapat disimpulkan bahwa *solar tracker* telah fokus menghadap arah matahari.

4.6 Hasil Uji Performansi PV *Fixbased*

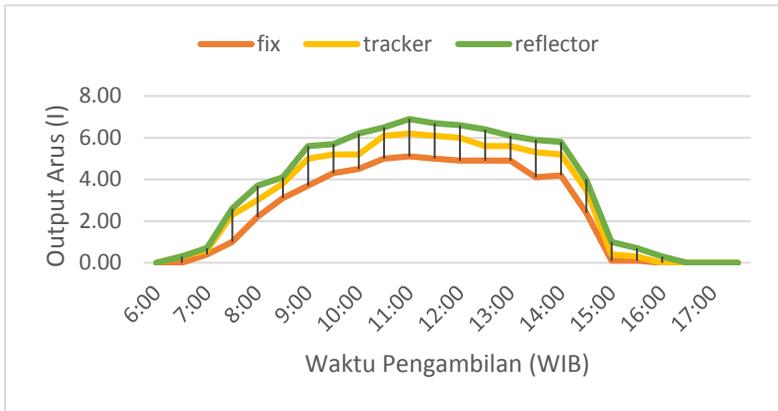
Pada penelitian kali ini, uji performansi PV menggunakan reflektor dilakukan dengan mengintegrasikan sistem solar tracker yang mampu bekerja dengan menggunakan metode kendali kontrol *modified particle swarm fuzzy*. Pengujian ini dilakukan dengan cara *fixbased* baik PV yang digunakan secara *fix* maupun PV yang digunakan dengan cara *tracker*. Adapun variabel yang diuji adalah nilai *output* arus, tegangan dan daya yang dihasilkan pada ketiga kondisi photovoltaic. Ketiga kondisi PV yang dimaksud adalah kondisi PV yang digunakan untuk posisi *fix*, PV yang digunakan pada *solar tracker* tanpa reflector serta PV yang digunakan pada *solar tracker reflector* dengan besar sudut kemiringan sebesar 70° . Pengambilan data pada uji performansi kali ini dilakukan di parkir Teknik Fisika – FTI ITS selama 12 jam dengan kondisi langit cerah. Sampling data yang dilakukan adalah selama 30 menit untuk setiap pengambilan data. Pemilihan waktu sampling didasarkan pada pergerakan posisi matahari yang mengalami perubahan signifikan pada rentang 30 menit



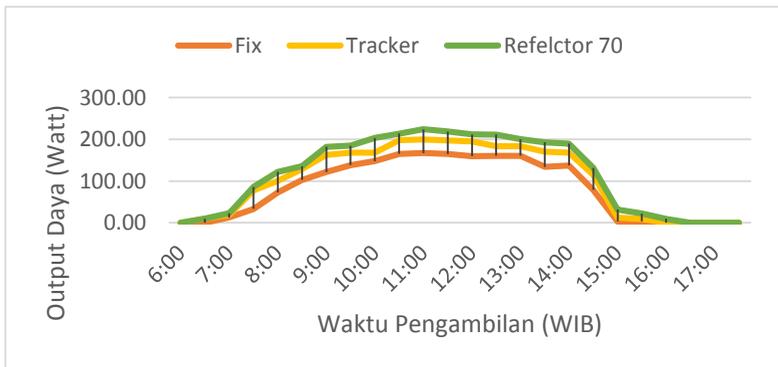
Gambar 4. 13 Grafik Uji Performansi Tegangan *fixbased*

Gambar 4.13 menunjukkan profil tegangan *output* PV antara ketiga kondisi PV yang berbeda, yaitu PV yang ditempatkan pada *fix*, PV yang digunakan pada solar tracker tanpa reflector dan PV yang digunakan pada solar tracker dengan menggunakan reflektor. Hasil trend dari ketiga kondisi tersebut relatif sama. Adapun nilai simpangan rata-rata antara PV yang digunakan secara *fix* dan PV yang digunakan pada solar tracker tanpa reflector sebesar 0,24 VDC. Sedangkan nilai simpangan rata-rata antara PV yang digunakan secara *fix* dengan PV yang digunakan pada solar tracker dengan reflektor sebesar 0,4 VDC. Dari hasil tersebut dapat kita simpulkan untuk uji performansi tegangan PV bahwa PV yang digunakan pada solar tracker dengan reflektor memiliki nilai performansi yang lebih baik dibandingkan dengan PV solar tracker tanpa reflector maupun PV *fix*.

Sedangkan untuk hasil uji arus *output* PV, dapat dilihat pada grafik gambar 4.14. Berdasarkan gambar tersebut terlihat perbedaan yang signifikan output arus baik antara PV *fix* dengan PV solar tracker tanpa reflector maupun antara PV *fix* dengan PV solar tracker dengan reflektor. Adapun nilai simpangan rata-rata antar PV *fix* dengan PV solar tracker tanpa reflector sebesar 0,66 A. Sedangkan nilai simpangan rata-rata antara PV *fix* dengan PV solar tracker menggunakan reflector sebesar 1,08 A



Gambar 4.14 Grafik Uji Performansi Arus *Fixbase*



Gambar 4.15 Grafik Uji Performansi Daya *Fixbase*

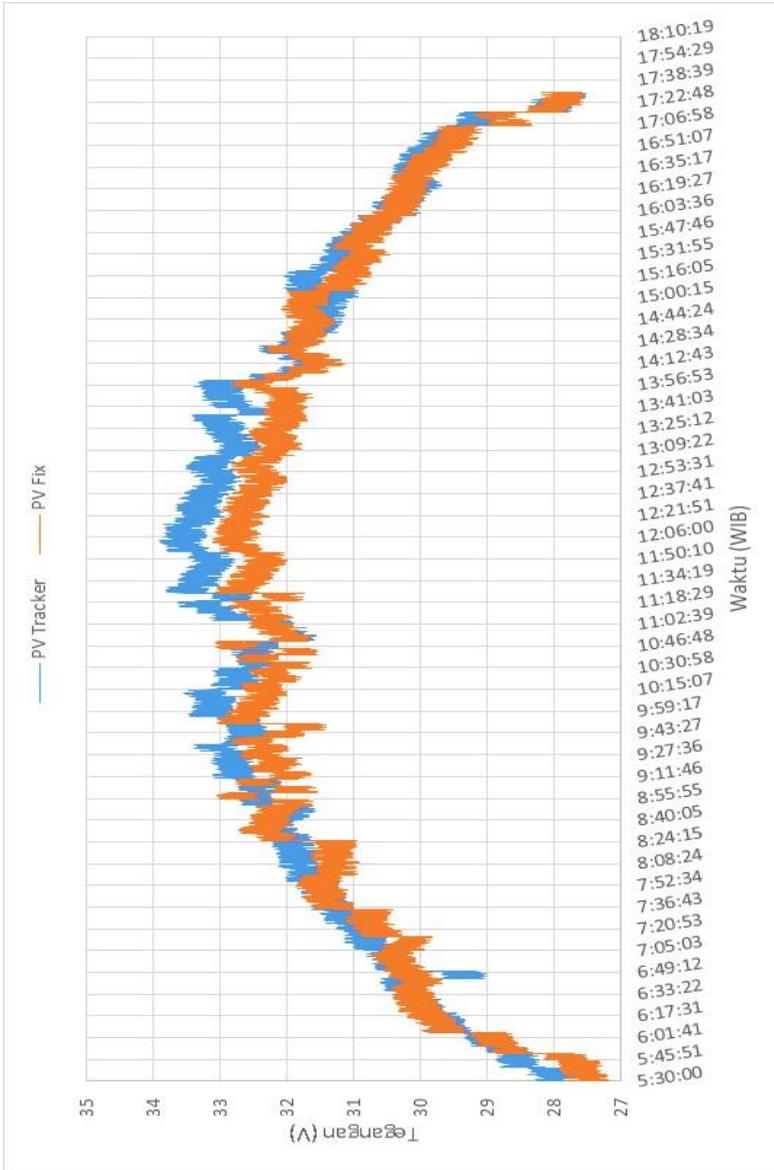
Gambar 4.15 menunjukkan grafik profil *output* daya antara ketiga kondisi PV yang berbeda, yaitu PV *fix*, PV *solar tracker* tanpa *reflector* dan PV *solar tracker* dengan *reflector*. *Output* daya yang dihasilkan ditampilkan dalam satuan Watt (W). Hasil *output* tersebut didapatkan dari perhitungan matematis perkalian *output* tegangan, dengan nilai *output* arus. Grafik profil *output* daya yang dihasilkan semakin menegaskan bahwa PV *solar tracker* dengan *reflector* memiliki nilai uji performansi yang lebih baik

dibandingkan dengan kedua kondisi PV lainnya. Adapun peningkatan nilai *output* daya antara PV *fix* dengan PV *solar tracker* tanpa *reflector* sebesar 25,7%. Sedangkan peningkatan nilai *output* energi antara PV *fix* dengan PV *solar tracker* dengan *reflector* sebesar 42,8 %. Dengan demikian dapat kita simpulkan bahwa terjadi peningkatan yang signifikan pada sistem *active solar tracker* dengan *reflector* dibandingkan dengan penggunaan PV *fix*.

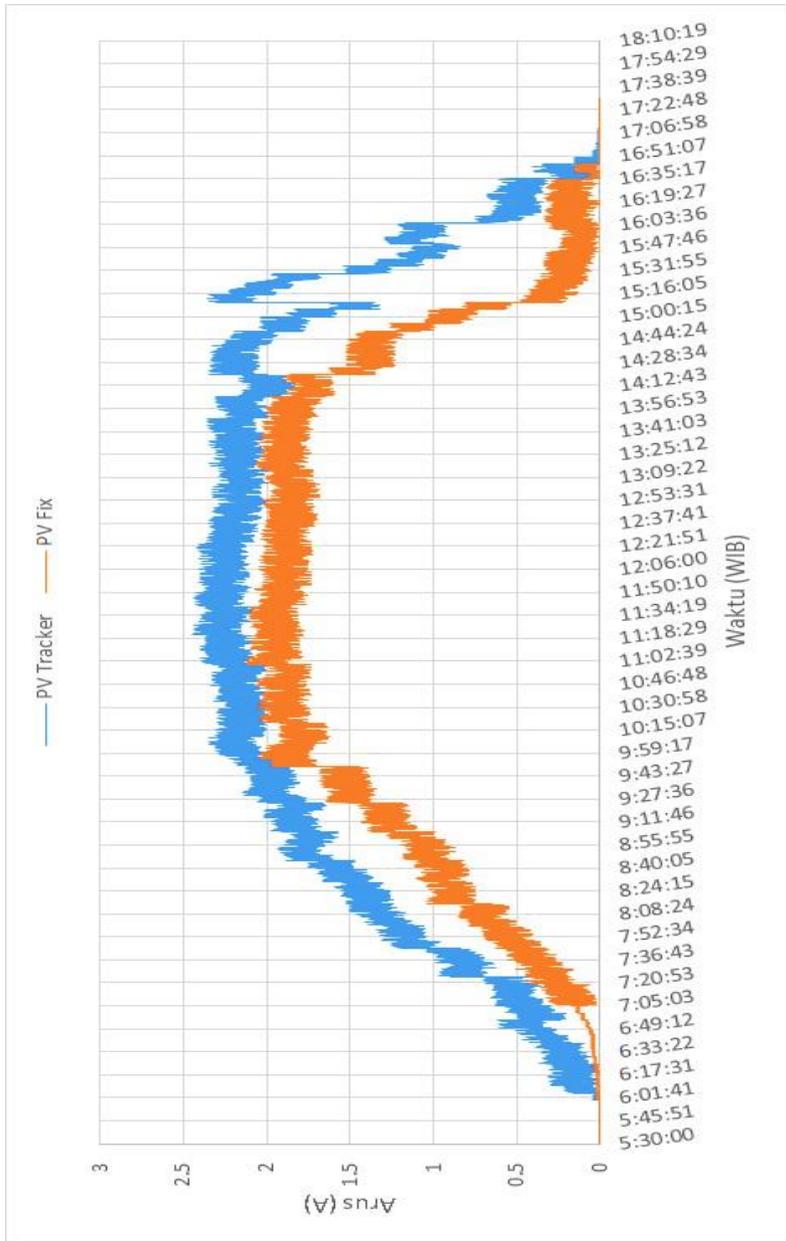
4.7 Hasil Uji *Mobile Active Solar Tracker* dengan *Reflector*

Pengujian *mobile active solar tracker* dilakukan dengan tujuan untuk mengetahui performansi dari karakteristik PV *fix* dengan PV *tracker* ber*reflector* dari sistem kendali MPSO-Fuzzy. Dalam pelaksanaannya, *mobile active solar tracker* pada penelitian kali ini hanya menguji *mobile active solar tracker* dengan menggunakan *reflector* karena pada uji performansi *fixbased* telah disimpulkan bahwa *solar tracker* yang menggunakan *reflector* memiliki tingkat efisiensi lebih besar. Pengambilan data *mobile active solar tracker* dengan *reflector* dilakukan mulai pukul 05.30 WIB sampai dengan pukul 17.30 WIB dikawasan Institut Teknologi Sepuluh Nopember dengan kondisi cerah berawan. Adapun teknik pengambilan data dilakukan menggunakan sebuah sistem terintegrasi data logger, dengan periode sampling setiap 5 sekon. Periode sampling setiap 5 sekon dipilih karena dalam pengambilan data *solar tracker* selalu berpindah tempat dan juga untuk mendapatkan hasil seakurat mungkin.

Parameter yang diuji dalam pengambilan uji *mobile active solar tracker* adalah *output* tegangan dan *output* arus yang dihasilkan. Dari kedua hasil uji tersebut kemudian dihitung berapa daya yang dihasilkan oleh masing-masing PV, baik PV *fix* tanpa *reflector* dan PV *mobile* dengan menggunakan *reflector*. Setelah didapatkan nilai daya yang dihasilkan dilakukan perhitungan peningkatan performansi energi yang dihasilkan. Peningkatan energi tersebut dilapirkan dalam bentuk prosentase



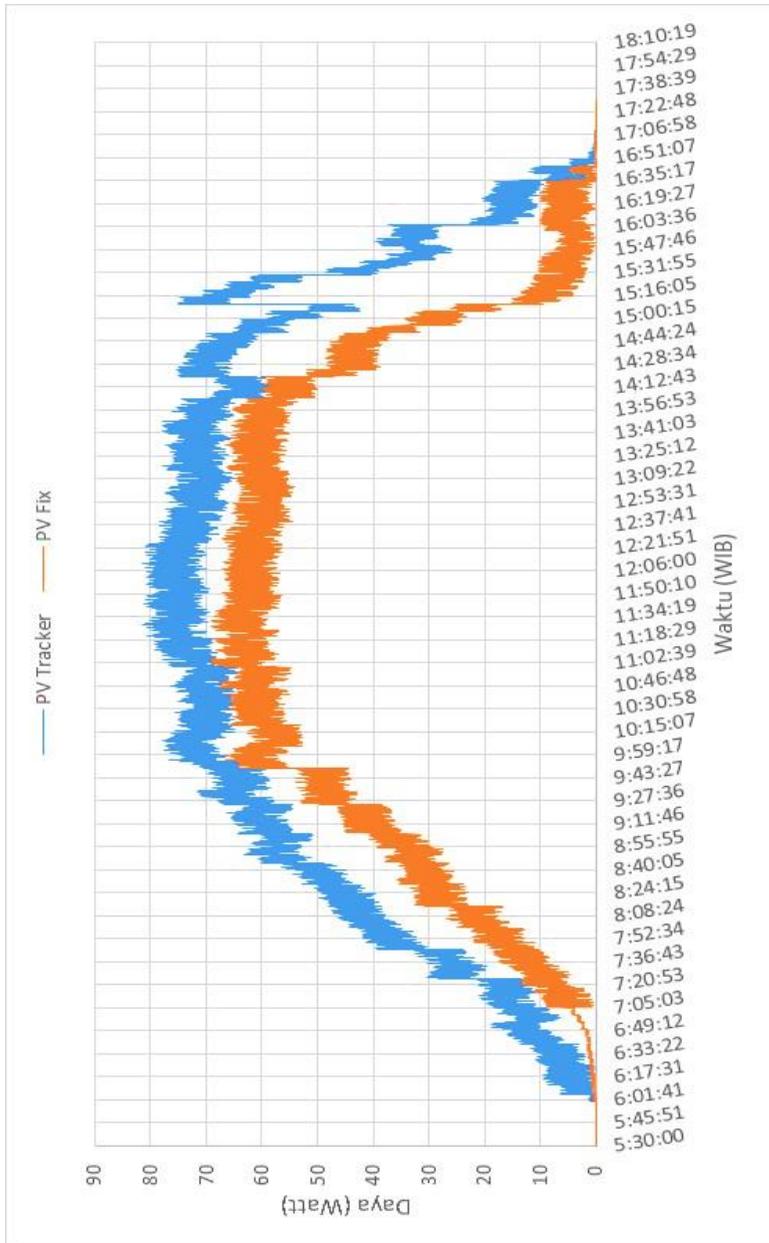
Gambar 4. 16 Grafik Hasil Uji Performansi Tegangan



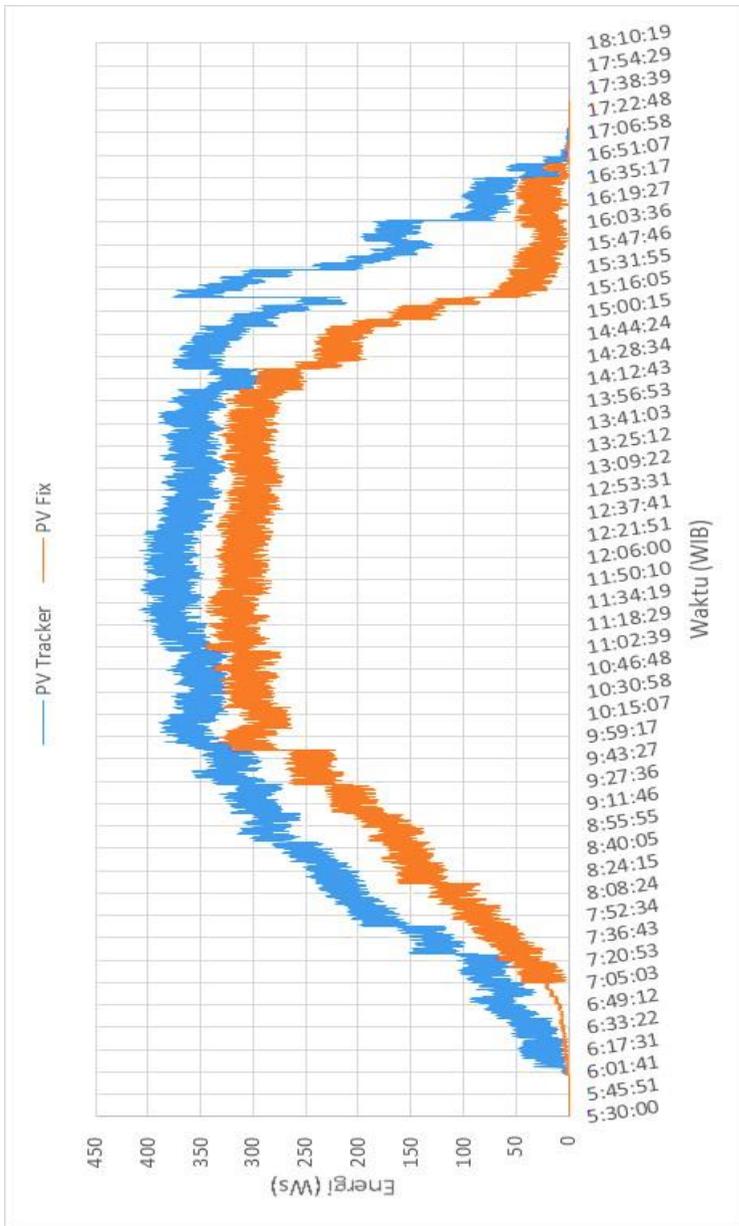
Gambar 4. 17 Grafik Hasil Uji Performansi Arus

Gambar 4.16 menunjukkan profil *output* tegangan yang dihasilkan oleh PV *solar tracker* dengan *reflector* dan PV *fixed* selama pengambilan uji performansi *mobile active solar tracker* dilakukan. Berdasarkan pengamatan terhadap grafik tersebut, didapatkan bahwa trend *output* tegangan dari kedua jenis PV relatif sama. Pada awal dan akhir pengujian, *output* yang dihasilkan relatif sama. Hal ini dikarenakan posisi dari PV *fix* sejajar dengan posisi yang terjadi pada PV *tracker*. *Output* tegangan maksimal yang dihasilkan oleh PV Tracker terjadi pada pukul 12.10 WIB, hal tersebut tidak sesuai dengan kondisi *noontime*. Adanya perbedaan tersebut dapat disebabkan karena pada saat kondisi *noontime* panas pancaran matahari lebih besar, sehingga menyebabkan tegangan yang dihasilkan tidak maksimal. Sementara pada PV *fix*, *output* tegangan maksimal terjadi pada pukul 09.00 WIB. Berdasarkan pengamatan dilapangan hal tersebut terjadi karena selama perjalanan tersebut posisi PV *fix* tegak lurus dengan matahari. Dari data tersebut, selisih *output* tegangan yang dihasilkan oleh kedua PV rata-rata sebesar 0,32V dengan selisih terbesar sebesar 1,08V yang terjadi pada pukul 13.30 WIB

Gambar 4.17 menunjukkan profil arus *output* PV *solar tracker* dengan *reflector* dan PV *fixed*. Berdasarkan grafik tersebut terlihat bahwa arus yang dihasilkan kedua PV memiliki *trend* yang sama. *Output* arus yang dihasilkan oleh PV *tracker* pada segala kondisi memiliki nilai yang lebih besar dibandingkan dengan PV *fix*. Hal ini disebabkan karena pada PV *tracker* selalu mengikuti posisi matahari berbeda dengan PV *fix*. Kedua PV, baik PV *tracker* maupun PV *fix* menghasilkan *output* arus terbesar pada pukul 11.00 WIB hingga 12.00 WIB atau pada saat *noontime*. Selain itu, pada kondisi tersebut selisih yang dihasilkan pada kedua PV cenderung lebih kecil dibandingkan dengan kondisi lain akibat adanya efek *noontime*. Berdasarkan hasil uji performansi arus, selisih rata-rata arus yang dihasilkan dari kedua PV tersebut sebesar 0,42 A dengan selisih arus terbesar terjadi pada pukul 15.10 WIB dengan nilai yang dihasilkan sebesar 1,886 A.



Gambar 4. 18 Grafik Hasil Uji Performansi Daya



Gambar 4. 19 Grafik Hasil Uji Performansi Energi

Dari perolehan nilai *output* tegangan dan arus tersebut dapat diperoleh besar daya yang dihasilkan seperti ditunjukkan pada Gambar 4.18 Berdasarkan grafik tersebut terlihat bahwa daya yang dihasilkan kedua PV memiliki *trend* yang sama. *Output* daya yang dihasilkan oleh PV *tracker* pada segala kondisi memiliki nilai yang lebih besar dibandingkan dengan PV *fix*. Selain itu, pada pukul 11.00 WIB hingga pukul 12.00 WIB selisih yang dihasilkan pada kedua PV cenderung lebih kecil dibandingkan dengan kondisi lain akibat adanya efek *noontime*. Berdasarkan hasil uji performansi arus, selisih rata-rata daya yang dihasilkan oleh PV *tracker* bereflektor dengan PV *fix* sebesar 13,8 watt dengan selisih tertinggi sebesar 59,3V

Gambar 4.16 menjelaskan tentang grafik hasil uji performansi energi yang dihasilkan oleh *mobile active solar tracker* dengan *reflector*. Pada uji ini, performansi energi diperoleh dari hasil perkalian antar *output* daya pada sistem *mobile* dikali dengan waktu yang dibutuhkan pada saat pengambilan data. Berdasarkan grafik tersebut, terlihat adanya perbedaan yang cukup lebar yang terjadi pada PV *tracker* dan PV *fix*. . Adapun peningkatan energi yang dihasilkan oleh PV *mobile active solar tracker* dengan *reflector* dibandingkan dengan PV *fix* sebesar 168 Wh. Dengan peningkatan tersebut efisiensi energy yang dihasilkan sebesar 43,01%. Dibandingkan dengan penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh Much.Faisal pada tahun 2018, efisiensi yang dihasilkan pada penelitian ini lebih besar dengan selisih sebesar 15,83%

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

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

- a. Parameter-parameter yang terdapat pada kontrol *modified particle swarm fuzzy* adalah besarnya perubahan intensitas matahari sebagai inputan nilai pembacaan sensor. Kontrol *modified particle swarm fuzzy* dapat diimplementasikan pada *active solar tracker* dengan *reflector* dengan performansi error steady state kontrol modified pada uji *set point pitch* sebesar 0.638% dan pada uji *set point yaw* sebesar 0.312%. Sedangkan untuk performansi *rise time*, *settling time* dan *Mov* untuk sudut *pitch* dan sudut *yaw* berturut-turut adalah 7 detik, 9 detik, 0% dan 4 detik, 6 detik dan 0%.
- b. Kontrol *modified particle swarm fuzzy* yang telah diaplikasikan pada solar tracker dapat meningkatkan efisiensi energi pada PV sebesar sebesar 43.01% pada saat kondisi *mobile tracker* dibandingkan dengan *fix tracker*.

5.2 Saran

Adapun saran yang dapat dikembangkan untuk penelitian selanjutnya adalah sebagai berikut

- a. Menambah jumlah *membership function* dengan *range* dari pembacaan sensor yang lebih kecil.
- b. Wiring kabel dengan sensor memerlukan kabel dan port yang baik, kalau bisa tidak menggunakan kabel jumper, karena jika terkena goncangan di jalan yang tidak rata, akan mengakibatkan pembacaan yang tiba-tiba acak dan harus di *restart system*.
- c. Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut dengan menggunakan optimasi lain guna mendapatkan hasil yang optimal.

Halaman ini sengaja dikosongkan

DAFTAR PUSTAKA

- [1] I. Abadi, A. Musyafa and A. Soeprijanto, "Design and Implementation of Active Two Axes Solar Tracking System Using Particle Swarm Optimization Based Fuzzy Logic Controller," *International Review on Modelling and Simulations (I.RE.MO.S.)*, 2015.
- [2] J. D.S and C. S.S, "Simulation Studies on Dual axis Solar Photovoltaic Panel Tracking System," 2012.
- [3] M. Hendro, "Perancangan dan Pembuatan Prototype Sistem Tracker Sel Surya untuk Mengikuti Arah Gerak Matahari," in *Prosiding Simposium Nasional Inovasi dan Pembelajaran Sains*, 2015.
- [4] M. Bates, *Interfacing PIC Microcontroller Embedded Design by Interactive Simulation*, Elsevier, 2010.
- [5] B. A.A, "Design and Performance of Solar Tracking Photovoltaic System," *International Journal of Control, Automation And System*, vol. 1 No 2, 2013.
- [6] N. Manafeddin, "DC Motor POsition Control Using Fuzzy Propotional-Derivative Controllers with Different Deffuzification Methods," *Turkish Journal Of Fuzzy Systems*, 2010.
- [7] 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.
- [8] X. L, "Tutorial Of PSO," 2006.

- [9] Y. Fukuyama, *Fundamentals of Particle Swarm Optimization Techniques*, USA: In *Modern Heuristic Optimization Techniques: Theory and Applications to Power Systems*, Eds : K.Y. Lee & M.A. El-Sharkawi, John Wiley & Sons, Inc, Hoboken, NJ, 2007.
- [10] Laile, Sharifah "Comparative Study Random PSO and Linear PSO Algorithm" University Teknologi Mara, Malaysia, 2015
- [11] Yang, Cheng-Hong "Linearly Decreasing Weight Particle Swarm Optimization with Accelerated Strategy for Data Clustering", *IAENG International Journal*, 2010
- [12] M. P. Kurnia, "Penelusuran Daya Maksimum Pada Panel Photovoltaic Menggunakan Kontrol Logika Fuzzy Di Kota Surabaya," Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya, 2013.
- [14] C. T. Cooperation, *Measuring Motor Parameter*, Hopkinton, 2013.
- [15] *Understanding DC Motor*.
- [16] F. M. Al-Naima, R. S. Ali and A. A. J, "Solar Tracking System Design Based on GPS and Astronomical Equations," *IT-DREPS Conference & Exhibition*, 2013.
- [17] B. Setiawan, H. M. Purnomo and M. Ashari, "Artificial Intelligent based Modeling of Mobile Solar Tracker for a Large Ship," 2009.
- [18] Mairizwan and Hendro, "Perancangan dan Pembuatan Prototype Sistem Tracker Sel Surya untuk Mengikuti Arah

Gerak Matahari," *Prosiding Simposium Nasional Inovasi dan Pembelajaran Sains*, p. 2, 2015.

- [19] D. S. S. Jain and S. S. Cheema, "Simulation Studies on Dual Axis Solar Photovoltaic Panel Tracking System," Electrical & Instrumentation Engineering Department Thapar University, Patiala, 2012.
- [20] Z. L.H and C. W, "An Improved PV System Based on Dual Axis Solar Tracking and MPPT," in *International Conference on Mechatronics and Automation*, China, 2014.
- [21] Faishal, M " Rancang Bangun *Combined Active-Passive Solar Tracker* pada *Mobile Based Photovoltaic* menggunakan Metode Kendali Fuzzy-PI" Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya, 2018.

Halaman ini sengaja dikosongkan

LAMPIRAN

A. Lampiran Data Sensor Tegangan

Tabel A. 1 Pengambilan data untuk Pembacaan Alat sensor tegangan

Masukan Tegangan Sensor (V)	Pembacaan Alat								Rata-Rata Pembacaan
	Naik			Turun			Rata-Rata		
	1	2	3	1	2	3	Naik	Turun	
1	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.98	1.00	0.99	1.00
2	2.00	2.00	2.03	2.03	2.03	2.00	2.01	2.02	2.02
3	2.98	2.98	3.01	3.05	3.01	3.01	2.99	3.02	3.01
4	4.03	4.03	4.03	4.06	3.96	3.96	4.03	3.99	4.01
5	5.03	5.03	5.06	5.06	5.06	5.03	5.04	5.05	5.05
6	6.01	6.04	6.06	6.04	6.01	6.01	6.04	6.02	6.03
7	7.04	7.04	7.04	7.09	7.01	7.04	7.04	7.05	7.04
8	7.99	7.99	7.99	8.06	8.04	8.02	7.99	8.04	8.02
9	9.02	9.02	9.04	9.14	9.02	9.02	9.03	9.06	9.04
10	10.04	10.07	10.07	10.09	9.97	10.00	10.06	10.02	10.04
11	11.00	11.00	11.00	11.07	11.07	11.05	11.00	11.06	11.03
12	12.02	11.93	12.10	12.05	12.00	12.00	12.02	12.02	12.02
13	13.03	13.03	13.05	13.10	13.10	13.07	13.04	13.09	13.06
14	14.08	14.10	14.10	14.08	14.08	14.05	14.09	14.07	14.08
15	15.05	15.05	15.05	15.10	15.05	15.05	15.05	15.07	15.06
16	16.06	16.10	16.10	16.10	16.10	16.10	16.09	16.10	16.09

Tabel A. 2 Pengambilan data untuk Kalibrasi Sensor tegangan

V _{ref} (V)	X_i Pembacaan Sensor Tegangan 25 v					\bar{x}_i	σ	U_{A1}
	1	2	3	4	5			
1	1.00	1.00	1.00	1.03	1.03	1.01	0.016432	0.007348
2	2.00	2.00	2.03	2.03	2.00	2.01	0.016432	0.007348
3	2.98	2.98	3.01	2.98	3.01	2.99	0.016432	0.007348
4	4.03	4.03	4.03	4.03	4.03	4.03	0	0
5	5.03	5.03	5.06	5.01	5.06	5.04	0.021679	0.009695
6	6.01	6.04	6.06	6.04	6.06	6.04	0.020494	0.009165
7	7.04	7.04	7.04	7.04	7.04	7.04	9.93E-16	4.44E-16
8	7.99	7.99	7.99	8.02	8.09	8.02	0.043359	0.019391
9	9.02	9.02	9.04	9.04	9.02	9.03	0.010954	0.004899
10	10.04	10.07	10.07	10.07	10.07	10.06	0.013416	0.006
11	11.00	11.00	11.00	11.00	11.00	11.00	0	0
12	12.02	11.93	12.10	12.00	12.10	12.03	0.072111	0.032249
13	13.03	13.03	13.05	13.03	13.03	13.03	0.008944	0.004
14	14.08	14.10	14.10	14.10	14.10	14.10	0.008944	0.004
15	15.05	15.05	15.05	15.08	15.05	15.06	0.013416	0.006
16	16.06	16.10	16.10	16.08	16.15	16.10	0.033466	0.014967

B. Lampiran Data Pengambilan Sensor ACS712

Tabel B.1 Pengambilan data untuk pembacaan alat sensor ACS712

Arus Masukan Sensor (A)	Pembacaan Sensor (A)								Rata-rata pembacaan
	Pembacaan Naik			Pembacaan Turun			Rata-Rata		
	1	2	3	1	2	3	Naik	Turun	
0.10	0.11	0.11	0.11	0.06	0.06	0.06	0.11	0.06	0.09
0.20	0.21	0.21	0.21	0.16	0.16	0.16	0.21	0.16	0.18
0.30	0.31	0.31	0.31	0.26	0.26	0.26	0.31	0.26	0.29
0.40	0.42	0.42	0.42	0.36	0.36	0.36	0.42	0.36	0.39
0.50	0.52	0.52	0.52	0.47	0.47	0.47	0.52	0.47	0.50
0.60	0.62	0.62	0.62	0.57	0.57	0.57	0.62	0.57	0.60
0.70	0.72	0.72	0.72	0.67	0.67	0.67	0.72	0.67	0.70
0.80	0.82	0.82	0.82	0.77	0.77	0.77	0.82	0.77	0.79
0.90	0.92	0.92	0.92	0.87	0.87	0.87	0.92	0.87	0.90
1.00	1.02	1.02	1.02	0.97	0.97	0.97	1.02	0.97	1.00
1.10	1.12	1.12	1.12	1.07	1.07	1.07	1.12	1.07	1.10
1.20	1.23	1.23	1.23	1.18	1.18	1.18	1.23	1.18	1.20
1.30	1.31	1.31	1.31	1.28	1.28	1.28	1.31	1.28	1.30

Tabel B.2 Pengambilan data untuk kalibrasi sensor ACS712

I_{ref} (A)	\bar{X}_i Pembacaan Sensor ACS					\bar{x}_i	σ	U_{A1}
	1	2	3	4	5			
0.10	0.11	0.11	0.11	0.11	0.11	0.11	0.000447	0.0002
0.20	0.21	0.21	0.21	0.22	0.21	0.21	0.001517	0.000678
0.30	0.31	0.31	0.31	0.31	0.31	0.31	0.000894	0.0004
0.40	0.42	0.42	0.42	0.42	0.42	0.42	0.000894	0.0004
0.50	0.52	0.52	0.52	0.52	0.52	0.52	0.001095	0.00049
0.60	0.62	0.62	0.62	0.62	0.62	0.62	0.000894	0.0004
0.70	0.72	0.72	0.72	0.72	0.72	0.72	0.00228	0.00102
0.80	0.82	0.82	0.82	0.82	0.82	0.82	0.001304	0.000583
0.90	0.92	0.92	0.92	0.92	0.92	0.92	0.001414	0.000632
1.00	1.02	1.02	1.02	1.02	1.02	1.02	0.000837	0.000374
1.10	1.12	1.12	1.12	1.12	1.12	1.12	0.001304	0.000583
1.20	1.23	1.23	1.23	1.23	1.23	1.23	0.000447	0.0002
1.30	1.31	1.31	1.31	1.31	1.31	1.31	0.001581	0.000707

C. Lampiran Data Sensor LDR

Tabel C. 1 Data pengambilan sensor LDR satu hari

waktu	LUX RATA2	V 1	V2	V3	V4
6:00	4126.666667	1.341	1.354	1.338	1.336667
6:30	11070	0.727667	0.537333	0.481667	0.492
7:00	16126.66667	0.589667	0.443	0.398	0.401333
7:30	11836.66667	0.617333	0.466	0.418	0.34
8:00	29733.33333	1.378	1.593333	1.368333	1.37
8:30	39400	0.600667	0.457333	0.415667	0.41
9:00	46333.33333	0.394333	0.309333	0.28	0.282333
9:30	56466.66667	0.367333	0.284	0.259333	0.24
10:00	52366.66667	0.437333	0.31	0.262	0.3
10:30	57766.66667	0.016433	0.011	0.011667	0.009333
11:00	68066.66667	0.187787	0.271	0.245	0.242
11:30	66833.33333	0.324667	0.290333	0.232	0.21
12:00	57800	0.0168	0.015	0.011967	0.01
13:00	49566.66667	0.372	0.294	0.264	0.445
13:30	53433.33333	0.365	0.289	0.26	0.259
14:00	45366.66667	0.435	0.346	0.301	0.31
14:30	33766.66667	0.478	0.375	0.332	0.334
15:00	25466.66667	0.023067	0.015	0.015167	0.012333
15:30	11946.66667	0.612	0.475	0.418667	0.433
16:00	2566.666667	1.323667	1.242	1.321333	1.267333
16:30	4020	1.338333	0.984333	0.843333	0.858333
17:00	1621	1.809	1.354	1.166667	1.17
17:30	120.1333333	4.09	3.441	3.239	3.09

D. Lampiran Data Performansi Karakteristik *Photovoltaic*

Tabel D. 1 Data Performansi Karakteristik PV

WAKTU	PV Tracker			PV Fixed		
	V	I	P	V	I	P
5.30	26.45	0.00	0.00	27.12	0.00	0.00
6.00	27.7	0.00	0.00	27.76	0.00	0.00
6.30	30.62	0.20	6.124	30.88	0.20	6.18
7.00	32.11	0.50	16.055	32.22	0.50	16.11
7.30	33.76	2.10	70.90	33.81	1.30	43.953
8.00	33.52	2.60	87.15	33.63	2.60	87.438
8.30	33.79	3.60	121.64	33.49	3.60	120.564
9.00	33.16	4.20	139.27	33.38	4.20	140.196
9.30	33.00	4.90	161.70	33.24	4.80	159.552
10.00	32.77	4.80	157.30	33.07	4.80	158.736
10.30	32.70	5.50	179.85	32.92	5.50	181.06
11.00	32.47	5.80	188.33	32.70	5.80	189.66
11.30	32.65	5.90	192.64	32.94	5.90	194.346
12.00	32.48	6.10	198.13	32.76	6.20	203.112
12.30	32.49	5.50	178.70	32.92	5.70	187.644
13.00	32.83	5.30	174.00	33.25	5.40	179.55
13.30	32.79	4.40	144.28	33.05	4.40	145.42
14.00	32.83	4.10	134.60	33.28	4.10	136.448
14.30	32.79	3.00	98.37	33.17	3.00	99.51
15.00	31.83	1.20	38.20	32.60	1.20	39.12
15.30	31.91	0.40	12.76	31.89	0.40	12.756
16.00	31.21	0.00	0.00	31.05	0.00	0
16.30	31.00	0.00	0.00	30.76	0.00	0
17.00	29.49	0.00	0.00	28.81	0.00	0
17.30	26.31	0.00	0.00	25.67	0.00	0

E. Lampiran Data Uji Performansi *Photovoltaic*
Tabel E.1 Pengambila data PV fix

Waktu	Fix Panel			
	V	I	P	W
6:00	27.76	0.00	0.00	0.00
6:30	30.88	0.00	0.00	11599.20
7:00	32.22	0.40	12.89	18208.80
7:30	33.12	1.00	33.12	35670.60
8:00	33.07	2.20	72.75	26870.40
8:30	33.10	3.10	102.61	17074.80
9:00	32.86	3.70	121.58	14725.80
9:30	32.08	4.30	137.94	8690.40
10:00	32.80	4.50	147.60	15705.00
10:30	33.01	5.00	165.05	1639.80
11:00	32.72	5.10	166.87	1954.80
11:30	32.94	5.00	164.70	4596.30
12:00	32.57	4.90	159.59	793.80
12:30	32.75	4.90	160.48	0.00
13:00	32.75	4.90	160.48	23985.90
13:30	32.64	4.10	133.82	3202.20
14:00	32.71	4.20	137.38	52687.80
14:30	32.85	2.40	78.84	68158.80
15:00	31.08	0.10	3.11	65.70
15:30	31.81	0.10	3.18	2862.90
16:00	30.35	0.00	0.00	0.00
16:30	30.32	0.00	0.00	0.00
17:00	27.31	0.00	0.00	0.00
17:30	25.24	0.00	0.00	0.00

Tabel E.2 Pengambilan data PV solar tracker tanpa reflector

Waktu	Tracker			
	V	I	P	W
6:00	29.45	0.00	0.00	8623.80
6:30	31.94	0.30	9.58	8910.00
7:00	32.47	0.60	19.48	52349.40
7:30	33.76	2.30	77.65	20566.80
8:00	33.50	3.00	100.50	25146.00
8:30	33.80	3.80	128.44	30969.00
9:00	32.57	5.00	162.85	4318.20
9:30	32.24	5.20	167.65	374.40
10:00	32.32	5.20	168.06	26783.10
10:30	32.43	6.10	197.82	1300.50
11:00	32.14	6.20	199.27	1465.20
11:30	32.40	6.10	197.64	2484.00
12:00	32.48	6.00	194.88	10080.00
12:30	32.80	5.60	183.68	201.60
13:00	32.76	5.60	183.46	11802.60
13:30	32.14	5.30	170.34	2050.20
14:00	32.32	5.20	168.06	47969.10
14:30	32.79	3.50	114.77	91952.10
15:00	31.49	0.40	12.60	2772.00
15:30	31.72	0.30	9.52	8564.40
16:00	31.15	0.00	0.00	0.00
16:30	30.71	0.00	0.00	0.00
17:00	28.72	0.00	0.00	0.00
17:30	26.53	0.00	0.00	0.00

Tabel E.3 Pengambilan data PV solar tracker dengan reflector

Waktu	Reflektor			
	V	I	P	W
6:00	29.45	0.00	0.00	8704.8
6:30	32.24	0.30	9.67	12003.3
7:00	32.87	0.70	23.01	56862.9
7:30	33.15	2.60	86.19	32185.8
8:00	32.96	3.70	121.95	12013.2
8:30	33.00	4.10	135.30	42181.2
9:00	32.53	5.60	182.17	2260.8
9:30	32.40	5.70	184.68	16812
10:00	32.80	6.20	203.36	9324
10:30	32.88	6.50	213.72	9290.7
11:00	32.47	6.90	224.04	4759.2
11:30	32.65	6.70	218.76	6146.1
12:00	32.11	6.60	211.93	423
12:30	33.04	6.40	211.46	10238.4
13:00	32.80	6.10	200.08	6594.3
13:30	32.67	5.90	192.75	2783.7
14:00	32.70	5.80	189.66	52434
14:30	32.85	4.00	131.40	89775
15:00	31.65	1.00	31.65	8532.9
15:30	31.67	0.70	22.17	11517.3
16:00	31.24	0.30	9.37	8434.8
16:30	30.90	0.00	0.00	0
17:00	29.78	0.00	0.00	0
17:30	27.72	0.00	0.00	0

F. Source Code Program Arduino

```
#include "fis_header.h"

#define Dir1      10          // INA motor pin BAWAH
#define Dir2      9          // INB motor pin
#define PWM1      13
#define Dir3      5          // INA motor pin ATAS
#define Dir4      3          // INB motor pin
#define PWM2      8

int LDR1 = A2; // input LDR1
int kiri = 0; // variable to store the value coming from the sensor
int LDR2 = A3;
int atas = 0;
int LDR3 = A4;
int kanan = 0;
int LDR4 = A5;
int bawah = 0;
float Y = 0.0;
float P = 0.0;

const int numReadings1 = 10;
```

```
int readings1[numReadings1]; // the readings from the analog
input
int readIndex1 = 0; // the index of the current reading
int total1 = 0; // the running total
const int numReadings2 = 10;
int readings2[numReadings2]; // the readings from the analog
input
int readIndex2 = 0; // the index of the current reading
int total2 = 0; // the running total
const int numReadings3 = 10;
int readings3[numReadings3]; // the readings from the analog
input
int readIndex3 = 0; // the index of the current reading
int total3 = 0; // the running total
const int numReadings4 = 10;
int readings4[numReadings4]; // the readings from the analog
input
int readIndex4 = 0; // the index of the current reading
int total4 = 0; // the running total

float vLDR1;
float vLDR2;
float vLDR3;
```

```
float vLDR4;

double errorlawasy=0;
double erroranyar;
double deltaerror;
double errorlawasp=0;
int SampleTime = 1000; //1 sec

// 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 = 1;
// 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];

// Setup routine runs once when you press reset:
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);

for (int thisReading1 = 0; thisReading1 < numReadings1;
thisReading1++) {
    readings1[thisReading1] = 0;
}

for (int thisReading2 = 0; thisReading2 < numReadings2;
thisReading2++) {
    readings2[thisReading2] = 0;
}

for (int thisReading3 = 0; thisReading3 < numReadings3;
thisReading3++) {
    readings3[thisReading3] = 0;
}

for (int thisReading4 = 0; thisReading4 < numReadings4;
thisReading4++) {
    readings4[thisReading4] = 0;
}

delay (500);
}

// Loop routine runs over and over again forever:
```

```
void loop()
{
  readingLDR1();
  readingLDR2();
  readingLDR3();
  readingLDR4();
  Serial.print(vLDR1);
  Serial.print(" 1-3 ");
  Serial.println(vLDR3);
  Serial.print(vLDR2);
  Serial.print(" 2-4 ");
  Serial.println(vLDR4);

  //yaw
  erroranyar = vLDR1-vLDR3;
  deltaerror = erroranyar-errorlawasy;
  errorlawasy = erroranyar;
  g_fisInput[0] = erroranyar;
  // Read Input: deltaerror
  g_fisInput[1] = deltaerror;

  g_fisOutput[0] = 0;
```

```
    fis_evaluate();
    Y = g_fisOutput[0];

    if (Y > 0.69 ){
        digitalWrite(Dir3, LOW);
        digitalWrite(Dir4, HIGH);}
    else if ( Y < -0.69){
        digitalWrite(Dir3, HIGH);
        digitalWrite(Dir4, LOW);}
    else {
        digitalWrite(Dir3, LOW);
        digitalWrite(Dir4, LOW);
        analogWrite (PWM2, 255);}

//pitch
    erroranyar = vLDR2 - vLDR4;
    deltaerror = erroranyar-errorlawasp;
    errorlawasp = erroranyar;
    g_fisInput[0] = erroranyar;
    // Read Input: deltaerror
    g_fisInput[1] = deltaerror;
```

```
g_fisOutput[0] = 0;

fis_evaluate();
P = g_fisOutput[0];
if (P > 0.69 ){
    digitalWrite(Dir1, HIGH);
    digitalWrite(Dir2, LOW);}
else if ( P < -0.69){
    digitalWrite(Dir1, LOW);
    digitalWrite(Dir2, HIGH);}
else {
    digitalWrite(Dir1, LOW);
    digitalWrite(Dir2, LOW);}
    analogWrite (PWM1, 255);
}
```



Nama Penulis Kurnia Dian Baskoro dengan nama panggilan Kurnia. Penulis dilahirkan di Mataram pada tanggal 7 Juli 1996 sebagai anak ketiga dari tiga bersaudara hasil pernikahan antara Suyoto dengan Sri Woelandari. Penulis telah menyelesaikan pendidikan tingkat dasar di SDN 01 Kartoharjo Madiun pada tahun 2009, pendidikan menengah pertama di SMPN 1 Madiun pada tahun 2011 dan pendidikan menengah atas di SMAN2 Madiun pada tahun 2014. Penulis diterima sebagai mahasiswa S1 Teknik Fisika ITS pada tahun 2014. Semasa perkuliahan, penulis aktif berorganisasi di Himpunan Teknik Fisika ITS (HMTF ITS) dan Laboratorium Pengukuran Fisis Departemen Teknik Fisika ITS serta aktif menjadi panitia di ITS Expo. Penulis memiliki focus bidang minat rekayasa instrumentasi dan kontrol untuk menyelesaikan tugas akhirnya. Apabila ada saran, kritik ataupun diskusi lebih lanjut dengan penulis dapat menghubungi melalui kurniadb@gmail.com