



TUGAS AKHIR - TF181801

PERANCANGAN *MOBILE SINGLE AXIS SOLAR TRACKER (MSAST) BERBASIS ADAPTIVE NEURO FUZZY CONTROL (ANFUC)*

ZULFA ANIS LABIBA
NRP.02311745000015

Dosen Pembimbing
Dr. Imam Abadi, ST. MT.

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

Halaman ini sengaja dikosongkan



FINAL PROJECT - TF 181801

***SINGLE AXIS SOLAR TRACKER MOBILE (MSAST)
DESIGN BASED ON ADAPTIVE NEURO FUZZY
CONTROL (ANFUC)***

ZULFA ANIS LABIBA
NRP. 02311745000015

Supervisors
Dr. Imam Abadi, ST. MT.

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

Halaman ini sengaja dikosongkan

PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Zulfa Anis Labiba
NRP : 02311745000015
Departemen : Teknik Fisika FTI-ITS

Dengan ini menyatakan bahwa tugas akhir saya yang berjudul “Perancangan *Mobile Single Axis Solar Tracker (MSAST)* Berbasis *Adaptive Neuro Fuzzy Control (ANFUC)*” 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 sebenar-benarnya.

Surabaya, 24 Juli 2019
Yang membuat pernyataan,



Zulfa Anis Labiba
NRP. 02311745000015

Halaman ini sengaja dikosongkan

LEMBAR PENGESAHAN

PERANCANGAN *MOBILE SINGLE AXIS SOLAR TRACKER (MSAST) BERBASIS ADAPTIVE NEURO FUZZY CONTROL (ANFUC)*

TUGAS AKHIR

Oleh :

Zulfa Anis Labiba
NRP. 02311745000015

Surabaya, 24 Juli 2019
Mengetahui/Menyetujui,

Pembimbing



Dr. Imam Abadi, S.T., M.T.
NIP: 19761006199903 1 002

Ketua Departemen Teknik Fisika



Agus Muhamad Hatta, S.T., M.Si, Ph.D
NIP. 19780902 200312 1 002

Halaman ini sengaja dikosongkan

**PERANCANGAN MOBILE SINGLE AXIS SOLAR
TRACKER (MSAST) BERBASIS ADAPTIVE NEURO
FUZZY CONTROL (ANFUC)**





TUGAS AKHIR

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

Oleh :

Zulfa Anis Labiba
NRP. 0231174500015

Disetujui oleh Tim Penguji Tugas Akhir

1. Dr. Imam Abadi, S.T., M.T.  (Pembimbing I)
2. Dr. Ir. Ali Musyafa', M.Sc  (Penguji I)
3. Dr.Ir. Ronny Dwi Noriyanti, M.Kes  (Penguji II)
4. Iwan Cony Setiadi, S.T, M.T.  (Penguji III)

SURABAYA

JULI, 2019

Halamn ini sengaja di kosongkan

PERANCANGAN *MOBILE SINGLE AXIS SOLAR TRACKER* (MSAST) BERBASIS *ADAPTIVE NEURO FUZZY CONTROL* (ANFUC)

Nama Mahasiswa : Zulfa Anis Labiba
NRP : 02311745000015
Program Studi : S1 Teknik Fisika
Dosen Pembimbing : Dr. Imam Abadi, S.T., M.T.

ABSTRAK

Metode untuk mengarahkan panel surya agar selalu mengikuti arah gerak matahari dikenal sebagai metode penjejakan arah gerak matahari (*the method of tracking the sun*). Alat yang digunakan untuk mengikuti arah gerak matahari dikenal sebagai *solar tracker*. Terdapat 2 jenis *solar tracker* yaitu *solar tracker* berbasis *solar-path* (pasif) dan *solar tracker* berbasis sensor (aktif). Pada penelitian kali ini mengkombinasikan metode aktif-pasif satu sumbu dalam penjejakannya yang bekerja secara bergantian ketika terjadi perubahan cuaca agar hasil yang didapat lebih optimal dan meningkatkan efisiensi energi sistem. Adapun *controller* yang digunakan pada sistem ini adalah *Adaptive Neuro Fuzzy Control* (ANFUC), Hasil uji menunjukkan bahwa sistem kontrol ANFUC dapat diterapkan pada sistem *solar tracker* dengan indeks performansi pada sistem aktif *tracker* pada sudut *pitch* (60°) memiliki $t_r = 1,8$ s, $t_s = 3,8$ s, $Mov = 0\%$ dan $ess = 0,016\%$, sedangkan pada pasif *tracking* memiliki indeks performansi dengan nilai $t_r = 1,08$ s, $t_s = 1,32$ s, $Mov = 0\%$ dan $ess = 0,01\%$. Pada sistem ini terjadi peningkatan efisiensi *gross energi gain* sebesar 69,05%, sedangkan *netto energi gain* sebesar 66,43% selama 10 jam.

Kata Kunci : *solar tracker*, *solar tracker* pasif-aktif, *Adaptive Neuro Fuzzy Control* (ANFUC)

Halaman ini sengaja dikosongkan

**SINGLE AXIS SOLAR TRACKER MOBILEC(MSAST)
DESIGN BASED ON ADAPTIVE NEURO FUZZY CONTROL
(ANFUC)**

Name : Zulfa Anis Labiba
NRP : 02311745000015
Study Program : S1 Teknik Fisika
Supervisor : Dr. Imam Abadi, S.T. M.T.

ABSTRACT

The method for directing the solar panel so that it is always in the direction of the sun is known as the tracking method Sun direction of motion (method of sun tracking). The tool used to follow the direction of solar motion is known as a solar tracker. There are 2 types of solar tracker, namely solar tracker based on solar-path (passive) and solar tracker sensors based (active). In this study, combining active-passive methods is one step in tracking which functions as a substitute for weather changes so that the results obtained are more optimal and improve the efficiency of the energy system. As the controller used in this system is Adaptive Neuro Fuzzy Control (ANFUC), the test results show the ANFUC control system can be applied to a solar tracking system with a performance index on an active tracking system at a pitch angle (60o) having $t_r = 1.8$ s, $t_s = 3.8$ s, $Mov = 0\%$ and $ess = 0.016\%$, while passive tracking has a performance index with $t_r = 1.08$ s, $t_s = 1.32$ s, $Mov = 0\%$ and $ess = 0.01\%$. In this system there was an increase in energy gross profit by 69.05%, while net energy rose by 66.43% for 10 hours.

Keywords : Solar Tracker, Solar Tracker passive-active, Adaptive Neuro Fuzzy Control (ANFUC)

Halaman ini sengaja dikosongkan

KATA PENGANTAR

Puji syukur atas kehadiran Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat dan hidayah-Nya sehingga penulis mampu menyelesaikan laporan penelitian Tugas Akhir yang berjudul **“PERANCANGAN *MOBILE SINGLE AXIS SOLAR TRACKER* (MSAST) BERBASIS *ADAPTIVE NEURO FUZZY CONTROL* (ANFUC)”** dengan tepat waktu. Laporan ini dapat terselesaikan tepat waktu karena dukungan dan peran serta dari berbagai pihak. Sehubungan dengan adanya hal tersebut, maka dalam kesempatan kali ini penulis mengucapkan banyak terima kasih kepada :

1. Bapak Agus Muhamad Hatta, ST, MSi, Ph.D selaku Ketua Jurusan Teknik Fisika FTI-ITS.
2. Bapak Dr. Imam Abadi, S.T., M.T. selaku pembimbing Tugas Akhir yang telah membina dan membimbing dengan baik.
3. Dr.Ir. Ali Musyafa’, M.Sc dan Dr.Ir. Dwi Ronny Noriyanti, M.Kes, Iwan Cony Setiadi, S.T,M.T. selaku penguji yang telah memberikan banyak masukan penting dalam perbaikan penyusunan tugas akhir ini.
4. Bapak Dr. Ir. Totok Soehartanto, DEA, selaku Dosen Wali penulis.
5. Seluruh dosen Teknik Fisika ITS atas segala ilmu, bimbingan, petunjuk, dan nasihat yang sangat bermanfaat.
6. Dosen dan Asisten di Laboratorium Konversi Energi Teknik Elektro, yang telah membantu banyak dalam Tugas Akhir ini.
7. Ibu beserta seluruh keluarga tercinta, terima kasih untuk dukungan tiada henti dan doa yang terus dipanjatkan hingga laporan Tugas Akhir ini dapat terselesaikan.
8. Aldiansyah Ramadhan S.T, yang telah membantu serta memberikan dukungan dalam pengerjaan Tugas Akhir ini.
9. Seluruh teman-teman tim *solar tracker* yang telah membantu banyak dalam Tugas Akhir ini.

10. Seluruh Teman-teman LJ-S1 Teknik Fisika 2017 FTI-ITS.
11. Serta semua pihak yang tidak bisa disebutkan satu persatu

Penulis menyadari bahwa laporan ini masih jauh dari kata sempurna. Oleh karena itu, penulis menerima segala masukan baik berupa saran, kritik, dan segala bentuk tegur sapa demi kesempurnaan laporan Tugas Akhir ini.

Demikian laporan Tugas Akhir ini penulis persembahkan dengan harapan dapat bermanfaat dalam akademik baik bagi penulis sendiri maupun bagi pembaca.

Surabaya, 24 Juli 2019

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI	v
LEMBAR PENGESAHAN	vii
ABSTRAK	xi
ABSTRACT	xiii
KATA PENGANTAR	xv
DAFTAR ISI	xvii
DAFTAR GAMBAR	xix
DAFTAR TABEL	xxiii
DAFTAR NOTASI	xxv
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Batasan Masalah.....	3
1.4 Tujuan Tugas Akhir.....	4
1.5 Sistematika Laporan	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	7
2.1 Panel Surya.....	7
2.2 Light Dependent Resistor (LDR)	9
2.3 Sensor posisi CMPS10	11
2.4 Motor DC.....	12
2.5 Posisi Matahari	15
2.6 Sistem Penjejak Matahari (Solar Tracker).....	17
2.7 Fuzzy Logic Controller.....	18
2.8 Neural Network (NN).....	19
2.9 Adaptive Neuro-Fuzzy Control (ANFUC)	21
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	27
3.1 Diagram Alir.....	27
3.2 Studi Literatur.....	28
3.3 Pengambilan Data Awal	29
3.4 Pemodelan Mobile Solar Tracker	37
3.5 Validasi Model	43

3.6 Perancangan Sistem Kontrol ANFUC	47
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	61
4.1 Uji Set Point	61
4.2 Uji Tracking	70
BAB V PENUTUP	85
5.1 Kesimpulan	85
5.2 Saran	85
DAFTAR PUSTAKA	
LAMPIRAN	

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Skema Sederhana Panel Surya.....	8
Gambar 2.2	Rangkaian Ekuivalensi Sel PV Dengan Dua	8
Gambar 2.3	Karakteristik input-output LDR.....	10
Gambar 2.4	Sensor Posisi CPMS10	11
Gambar 2.5	Motor DC dan Rangkaian Ekuivalen	12
Gambar 2.6	Simulink Model Motor DC	14
Gambar 2.7	Matahari Pada Koordinat Horizontal	16
Gambar 2.8	Single Axis Tracker	17
Gambar 2.9	Sistematika Fuzzy Logic Controller	18
Gambar 2.10	Struktur Node Jaringan Saraf Tiruan	20
Gambar 2.11	Sistem Inferensi Fuzy Takagi Sugeno-Kang	21
Gambar 2.12	Arsitektur Jaringan ANFUC	22
Gambar 2.13	Flowchart Adaptive Neuro Fuzzy Control (ANFUC)	25
Gambar 3.1	Diagram Alir Penelitian	28
Gambar 3.2	Set up Pengambilan data LDR	30
Gambar 3.3	Grafik Intensitas cahaya (Lux) Terhadap Tegangan	30
Gambar 3.4	Grafik Intensitas cahaya (lux) Terhadap.....	31
Gambar 3.5	Rute Pengambilan Data Posisi Matahari.....	32
Gambar 3.6	Pengambilan data Lintang dan Bujur dengan Sunlock Appcication.....	32
Gambar 3.7	Set Up Alat Untuk Pengambilan Motor DC	33
Gambar 3.8	Pengambilan data R dan L	34
Gambar 3.9	Set Up alat pagambilan Data panel surya	36
Gambar 3.10	Pemodelan LDR Berbasis simulink	38
Gambar 3.11	Pemodelan Posisi Matahari berbasis simulink....	38
Gambar 3.12	Pemodelan Motor DC berbasis Simulink.....	39
Gambar 3.13	Gerak Pitch Motor DC	40

Gambar 3.14	Rangkaian ekuivalen panel surya.....	41
Gambar 3.15	Pemodelan Panel Surya Berbasis simulink	42
Gambar 3.16	Hasil validasi model sensor LDR terhadap data primer	43
Gambar 3.17	Hasil validasi sudut altitude terhadap NOAA	44
Gambar 3.18	Hasil validasi model motor DC terhadap data primer	45
Gambar 3.19	Hasil Validasi tegangan panel surya	46
Gambar 3.20	Hasil Validasi Arus panel surya	46
Gambar 3.21	Struktur ANFUC	48
Gambar 3.22	Diagram Blok mobile solar tracker pasif	49
Gambar 3.23	Fungsi Keanggotaan fuzzy error pada pasif	50
Gambar 3.24	Fungsi Keanggotaan fuzzy delta error pada pasif	50
Gambar 3.25	Fungsi Keanggotaan ANFUC error pada pasif	51
Gambar 3.26	Fungsi Keanggotaan ANFUC delta error pada pasif.....	51
Gambar 3.27	Membership function dari output PWM	53
Gambar 3.28	Blok Diagram Mobile solar tracker aktif	54
Gambar 3.29	Fungsi Keanggotaan error fuzzy pada mobile solar tracker aktif	55
Gambar 3.30	Fungsi Keanggotaan delta error fuzzy pada mobile solar tracker aktif	56
Gambar 3.31	Fungsi Keanggotaan ANFUC error pada aktif.....	56
Gambar 3.32	Fungsi Keanggotaan ANFUC deltaerror pada aktif	57
Gambar 3.33	Membership function dari output PWM.....	59
Gambar 4.1	Pemodelan Uji Set Point Berbasis Simulink (a) Mobile solar tracker pasif (b) Mobile solar tracker Aktif.....	62
Gambar 4.2	Respon Sudut pitch Pasif Solar Tracker dengan set point (a) 30° (b) 45° (c) 60°	63

Gambar 4. 3	Respon Sudut pitch Solar Tracker Aktif dengan set point (a) 30° (b) 45° (c) 60°	66
Gambar 4. 4	Respon Tegangan pada Sudut pitch (a) 30° (b) 45° dan (c) 60°	69
Gambar 4. 5	Pemodelan mobile Solar Tracker pasif berbasis simulink	71
Gambar 4. 6	Pemodelan Mobile solar tracker aktif berbasis simulink	72
Gambar 4. 7	Hasil Tracking Sudut Altitude Mobile solar tracker pasif.....	73
Gambar 4. 8	Hasil Tracking Sudut Altitude diperbesar.....	73
Gambar 4. 9	Hasil Tracking Sudut Altitude Aktif Mobile solar tracker	74
Gambar 4. 10	Hasil Tracking Sudut Altitude diperbesar.....	75
Gambar 4. 11	Respon Tegangan LDR untuk Tracking Sudut Altitude	76
Gambar 4. 12	Pemodelan Combine Pasif-Mobile solar tracker aktif.....	77
Gambar 4. 13	Respon Tegangan output LDR pada Uji Tracking Altitude	78
Gambar 4. 14	Respon Output Sudut Pitch Pada Uji Tracking Altitude	79
Gambar 4. 15	Respon Tegangan Output Mobile Solar Tracker dan Pv Fixed.	80
Gambar 4. 16	Respon Arus Output Mobile solar tracker dan Pv Fixed.	81
Gambar 4. 17	Respon Daya Output Mobile solar tracker dan Pv Fixed.	81

Halaman ini sengaja dikosongkan

DAFTAR TABEL

Tabel 3.1 Parameter Motor DC	35
Tabel 3.2 Parameter Panel surya	36
Tabel 3.3 Rulebase Pasif ANFUC	52
Tabel 3.4 Rulebase Aktif ANFUC.....	57
Tabel 4.1 Indeks Performansi pada susut pitch mobile solar tracker pasif	64
Tabel 4.2 Indeks performansi pada sudut pitch <i>mobile solar</i> <i>tracker</i> aktif	67
Tabel 4.3 Perbandingan Indeks Performansi Respon Tegangan	70

Halaman ini sengaja dikosongkan

DAFTAR NOTASI

θ	= Sudut <i>Shaft</i> Rotor
ω	= Kecepatan Sudut
μ	= <i>Temperature Coeff. of Short Circuit Current</i>
Φ	= <i>Temperature Coeff. of Short Circuit Voltage</i>
B_m	= <i>Viscous Friction Coefficient</i>
E_b	= Tegangan Balik EMF
I	= Arus PV
I_a	= Arus Armatur
I_d	= Arus diode
I_{eff}	= Intensitas cahaya efektif yang diterima LDR
I_{max}	= Intensitas cahaya maksimum yang diterima LDR
I_{mp}	= <i>Maximum Power Current</i>
I_{ph}	= <i>Photocurrent</i>
I_{sc}	= <i>Short Circuit Current</i>
I_{sh}	= Arus <i>shunt</i>
J_m	= Inersia Motor
K_b	= Konstanta Tegangan Balik EMF
K_T	= Konstanta Torsi
L_a	= Induktansi Armatur
R	= Resistansi
R_a	= Resistansi Armatur
R_{pv}	= Resistansi internal PV
S	= Radiasi matahari
S_{ref}	= Radiasi matahari pada kondisi standar (1000 W/m ²)
T	= Temperatur permukaan PV
T_{ref}	= Temperatur referensi (25°)
T_m	= Torsi Motor
V_a	= Tegangan Armatur
V_{oc}	= <i>Open Circuit Voltage</i>
V_{mp}	= <i>Maximum Power Voltage</i>
y_i	= Nilai yang diinginkan
\hat{y}_i	= Nilai yang keluar dari pemodelan

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Matahari merupakan sumber energi yang bergerak dan setiap derajat pergerakannya akan mempengaruhi besar penerimaan intensitas cahaya yang akan diterima oleh suatu alat / bahan yang disebut panel surya [1]. Sebagian besar panel surya dipasang permanen dengan sudut elevasi yang tetap (*fixed elevating angles*). Hal ini menyebabkan panel surya tersebut tidak dapat menyerap radiasi matahari secara optimal. Oleh sebab itu, diperlukan upaya untuk mengarahkan permukaan panel surya agar selalu tegak lurus terhadap cahaya matahari. Metode untuk mengarahkan panel surya agar selalu mengikuti arah gerak matahari itu dikenal sebagai metode penjejakan arah gerak matahari (*the method of tracking the sun*) [2] Alat yang digunakan untuk mengikuti arah gerak matahari dikenal sebagai *solar tracker*.

Sistem *tracking* matahari diklasifikasikan berdasarkan jumlah sumbu rotasinya yaitu gerakan *angular* untuk merubah sumbu azimuth dan sudut kemiringan yang terdiri dari dua tipe, yaitu *one-axis tracker* dan *two-axis tracker*. *One-axis tracker* hanya merubah salah satu posisi sumbu dari photovoltaic sedangkan *two-axis* merubah kedua sumbu pada *photovoltaic*. Selain itu, *solar tracker* terdiri dari dua jenis yaitu aktif (*electrooptic*) dan pasif (*solar path*). Perbedaan keduanya yaitu terdapat pada penggunaannya, aktif digunakan ketika cuaca cerah sehingga pada tipe aktif ini, menggunakan sensor LDR pada photovoltaic yang digunakan untuk menangkap radiasi matahari, selain itu sistem penjejak matahari aktif menggunakan sistem *loop* tertutup dan menggunakan sensor elektronik untuk mendeteksi posisi matahari. Sedangkan *solar tracking* pasif digunakan ketika kondisi matahari tidak cerah dimana pasif menggunakan pergerakan posisi matahari.

Berdasarkan penelitian sebelumnya, beberapa studi teoritis dan praktis telah dilakukan oleh peneliti untuk mendapatkan peningkatan pembangkit listrik tenaga surya menggunakan *single axis* atau *dual axis* [3] [4] [5], selain itu M.J. Clifford [6]

melakukan penyelidikan eksperimental tentang sistem pelacak matahari di daerah khatulistiwa di seluruh dunia, dengan dilakukan pemodelan memprediksi peningkatan efisiensi hingga 23% dibandingkan panel surya tetap (*fixed panel*), Imam A. et Al [7] Penelitian ini membahas mengenai desain dan penerapan sistem pelacak matahari satu sumbu. Sistem ini menggunakan posisi dari matahari sebagai *input*, posisi matahari langsung di respon oleh sensor LDR, sensor LDR menerima perintah berdasarkan perhitungan letak posisi matahari dan akan bekerja dengan cara memutar motor sesuai sudut perhitungan posisi matahari. Penelitian ini dapat menunjukkan efisiensi yang dihasilkan adalah sekitar 48% jika dibandingkan dengan *solar tracker* yang tetap atau *fixed*. Pada daerah katulistiwa *solar tracker* yang efektif digunakan adalah *single axis solar tracker* karena mempunyai sudut pergeseran yang lebih kecil. Namun kekurangan pada penelitian tersebut, pada *active tracking* daya yang dihasilkan sistem tersebut akan menurun ketika cuaca berawan.

Berdasarkan kajian diatas dapat dikatakan bahwa dalam pengembangan sistem *solar tracker*, diperlukan sebuah rancangan baik menggunakan metode *electrooptic tracking* (aktif *tracking*) maupun *solar path tracking* (pasif *tracking*), dimana pada sistem ini akan bekerja secara bergantian ketika terjadi perubahan cuaca, agar hasil yang didapat lebih optimal dan menghasilkan efisiensi energy maksimum. Selain itu, pada sistem ini menggunakan sistem *tracking mobile based* dimana landasan pada sistem bergerak, sehingga dibutuhkan sebuah sistem kontrol yang mampu mengatasi setiap perubahan *input* (masukan) pada sistem *solar tracker* ketika terjadi perubahan kondisi cuaca serta perubahan lokasi. Pada penelitian ini diterapkan sistem kontrol *Adaptive Neuro-Fuzzy Control* (ANFUC) yang merupakan penggabungan mekanisme *fuzzy inference system* yang digambarkan dalam arsitektur jaringan syaraf tiruan sehingga pada sistem panel surya dapat optimal dan lebih efektif dan responsif terhadap perubahan posisi matahari.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang diatas, permasalahan yang akan dibahas pada penelitian Tugas Akhir ini adalah :

1. Bagaimana menentukan parameter kontrol *Adaptive Neuro Fuzzy Control* (ANFUC) pada *Mobile Single Axis Solar Tracker* (MSAST)?
2. Bagaimana peningkatan performansi panel surya berbasis *Adaptive Neuro Fuzzy Control* (ANFUC)?

1.3 Batasan Masalah

Untuk memfokuskan penyelesaian masalah pada penelitian ini maka batasan masalah yang diangkat adalah sebagai berikut :

1. Beberapa variabel pengukuran seperti radiasi, suhu dan sudut *altitude* diambil dari lokasi Surabaya, Jawa Timur, Indonesia.
2. Kontrol yang digunakan dalam sistem penjejak matahari adalah *Adaptive Neuro Fuzzy Control* (ANFUC) dan dibandingkan dengan *fuzzy Logic Controller* (FLC)
3. Konsumsi daya menggunakan pendekatan *gross* dan *netto* energi *gain*.
4. Tidak membahas sistem penyimpanan listrik.
5. Mode penjejak matahari yang digunakan adalah aktif dan pasif.
6. Variabel proses yang dikendalikan adalah sudut *altitude* (*pitch angle*).
7. Sensor yang digunakan adalah LDR dan sensor posisi dengan komposisi LDR dan posisi untuk *altitude* (*pitch angle*).
8. Kapasitas PV yang digunakan sebesar 250 W.
9. Kalkulasi perhitungan astronomi menggunakan model geometri.
10. Lokasi pengambilan data *mobile* di Teknik Fisika ITS sampai jembatan Suramadu.

1.4 Tujuan Tugas Akhir

Tujuan penelitian disusun berdasarkan rumusan masalah yang diambil. Berikut beberapa tujuan yang ingin dicapai dalam penelitian Tugas Akhir ini adalah :

1. Mendapatkan parameter kontrol *Adaptive Neuro Fuzzy Control* (ANFUC) pada *Mobile Single Axis Solar Tracker* (MSAST).
2. Mendapatkan peningkatan performansi panel surya berbasis *Adaptive Neuro Fuzzy Control* (ANFUC)

1.5 Sistematika Laporan

Sistematika penulisan laporan tugas akhir adalah sebagai berikut :

BAB I PENDAHULUAN

Bab ini terdiri dari latar belakang, rumusan masalah, batasan masalah, tujuan dan sistematika laporan.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Pada bab ini berisi dasar teori yang terkait dengan tugas akhir tentang perancangan *mobile solar tracker* (MSAST) berbasis *Adaptive neuro-fuzzy control* (ANFUC). Pada bab ini terdiri dari dasar teori tentang panel surya, sensor yang digunakan yakni LDR dan CMPS10, motor DC, posisi matahari, sistem penjejakan matahari (*solar tracker*), serta kontrol yang digunakan yakni *Adaptive neuro-fuzzy control* (ANFUC).

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

Bab ini menjelaskan langkah-langkah yang dilakukan dalam penelitian yang dimulai pengambilan data pengukuran, pemodelan *mobile single axis solar tracker*, simulasi, pengujian dan validasi.

BAB IV ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN

Bab ini menjelaskan tentang hasil simulasi dan pengujian dari kontrol ANFUC dalam sistem *mobile single axis solar*

tracker. Didapatkan hasil pengujian *set point* pada sistem aktif maupun pasif. Hasil uji *tracking* pada aktif dan pasif *solar tracker*. Hasil *combine mobile solar tracker*. Serta hasil performansi dari sistem *mobile single axis solar tracker*.

BAB V PENUTUP

Pada bab V ini diberikan kesimpulan dari penelitian tugas akhir yang telah dilakukan berdasar hasil yang diperoleh, serta diberikan saran sebagai penunjang maupun pengembangan tugas akhir selanjutnya.

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB II

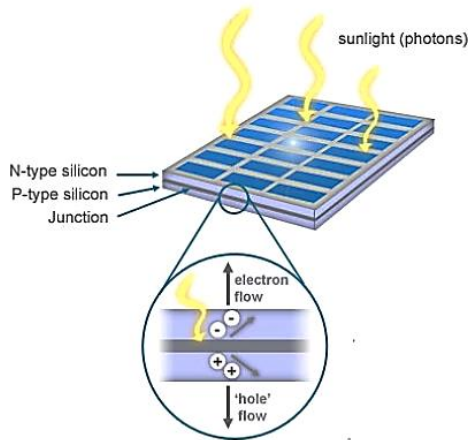
TINJAUAN PUSTAKA

Pada penelitian sistem penjejak matahari (*solar tracker*) telah banyak studi teoritis dan praktis yang telah dilakukan oleh peneliti, ditinjau dari sumbu rotasi, sistem kontrol yang digunakan maupun berdasarkan mekanisme penjejakan. Penelitian ini merujuk pada penelitian yang telah dilakukan sebelumnya oleh Imam Abadi [3][4][5]. Sistem penjejakan matahari yang di gunakan pada penelitian ini merupakan kombinasi dari dua metode yakni berdasarkan *electrooptic* (aktif) maupun *solar-path* (pasif) serta menerapkan sistem *tracking mobile based*, dengan menggunakan kontrol *Adaptive Neuro Fuzzy Control* (ANFUC). Oleh karena itu, beberapa kajian pustaka yang mendukung penelitian dibahas pada bagian ini.

2.1 Panel Surya

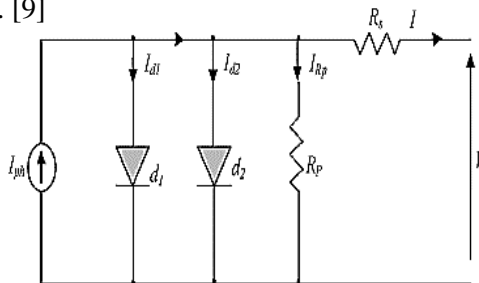
Panel surya atau biasa dikenal dengan sebutan photovoltaic (pv) adalah sebuah modul yang terdiri dari beberapa susunan sel surya. Sel surya adalah alat yang mengubah energi cahaya menjadi listrik.. Panjang gelombang yang dipancarkan sinar matahari berkisar 250 nm sampai dengan 2500 nm, dengan panjang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

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. [8] Gambar 2.1 menunjukkan proses penyerapan cahaya matahari oleh sel surya.



Gambar 2. 1 Skema Sederhana Panel Surya[8]

Konfigurasi rangkaian PV terdiri atas sumber arus I_{ph} , dua dioda (d_1 dan d_2), dan dua hambatan (R_p dan R_s). Dimana I_{ph} adalah arus PV, I_{d1} dan I_{d2} adalah arus balik jenuh. Model dengan dua dioda digunakan untuk memodelkan karakteristik dari modul PV, dikarenakan model ini diketahui mempunyai tingkat akurasi yang tinggi pada iradiasi yang rendah dimana memungkinkan untuk mendapatkan prediksi yang lebih akurat dari performansi sistem PV pada *partial shading condition* (PS). Konfigurasi dari rangkaian PV dengan dua dioda dapat dilihat pada gambar 2.2 dibawah ini. [9]



Gambar 2.2 Rangkaian Ekuivalensi Sel PV Dengan Dua Dioda [9]

Berdasarkan gambar 2.3 diatas, apabila diselesaikan menggunakan Hukum Kirchoff maka akan menghasilkan arus *output* PV seperti berikut :

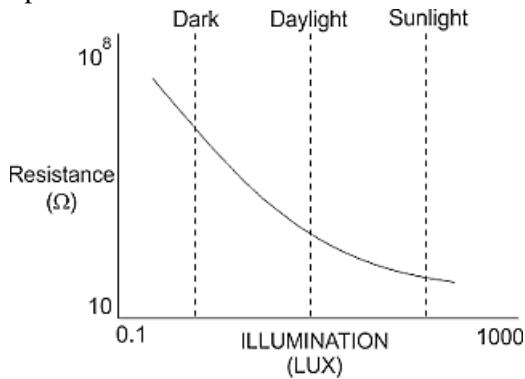
$$I = I_{ph} - I_{d1} e^{\frac{q(V+I.R_s)}{n_1 kT}} - 1 - I_{d2} e^{\frac{q(V+I.R_s)}{n_2 kT}} - 1 - \frac{V + I R_s}{R_p} \quad (2.1)$$

2.2 Light Dependent Resistor (LDR)

LDR (*Light Dependent Resistor*) merupakan salah satu sensor cahaya yang hambatan dari sensor itu sendiri berubah bergantung pada intensitas cahaya yang masuk. LDR digunakan untuk mengubah energi cahaya menjadi energi listrik. Secara umum LDR bekerja berdasarkan pengaruh dari intensitas cahaya yang datang pada bagian sensor. Besarnya intensitas cahaya akan mempengaruhi besarnya nilai resistansi pada LDR, Dalam intensitas cahaya rendah, jumlah bahan piringan yang mengandung elektron bebas relatif kecil. Elektron bebas yang dapat mengalirkan muatan listrik juga sedikit sehingga bahan piringan ini tidak cukup baik sebagai konduktor. Dalam hal ini, berarti nilai hambatan pada LDR terbilang tinggi.

Dalam intensitas cahaya tinggi, jumlah bahan piringan yang mengandung elektron bebas relatif banyak. Elektron bebas yang dapat mengalirkan muatan listrik juga banyak sehingga bahan piringan ini cukup baik sebagai konduktor. Dalam hal ini, berarti nilai hambatan pada LDR terbilang rendah. Hal ini menunjukkan bahwa semakin tinggi intensitas cahaya yang mengenai bahan piringan maka semakin banyak elektron bebas yang tersedia dan semakin rendah pula hambatan pada LDR tersebut dan juga sebaliknya [10]. *Output* LDR merupakan perubahan resistansi yang nilainya berbanding terbalik dengan intensitas cahaya yang mengenyainya Pengaruh intensitas cahaya terhadap resistansi LDR

ini bersifat menurun secara eksponensial. Hubungan antara *input* dan *output* LDR memiliki karakteristik nonlinier seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.3



Gambar 2. 3 Karakteristik *input-output* LDR[11]

Berdasarkan Gambar 2.3 di atas, dapat diturunkan fungsi transfer LDR dengan *input* berupa intensitas cahaya L (lux) dan perubahan resistansi R (Ohm) sebagai *output*. [11]

$$Ls = 10^{\left[\frac{4}{3}(5 \log Rs)\right]} \quad (2.2)$$

$$\log Rs = -\frac{3}{4} \log Ls + 5 \quad (2.3)$$

Untuk menghitung tegangan *output* pada LDR digunakan persamaan berikut.

$$Vo = \frac{LDR}{LDR+R1} Vcc \quad (2.4)$$

Dimana:

V_o = Tegangan *output*

LDR = Resistansi LDR

R_1 = Resistor

V_{cc} = Tegangan masuk

2.3 Sensor posisi CMPS10

Sensor CMPS10 merupakan suatu sensor posisi angular yang digunakan untuk mengindera posisi aktual dari *photovoltaic* pada arah *altitude* dan *azimuth* matahari dan mengkonversinya menjadi bilangan desimal yang merepresentasikan sudut putar. CMPS10 merupakan modul terintegrasi yang menggunakan prinsip kompas kompensator kemiringan. [12]



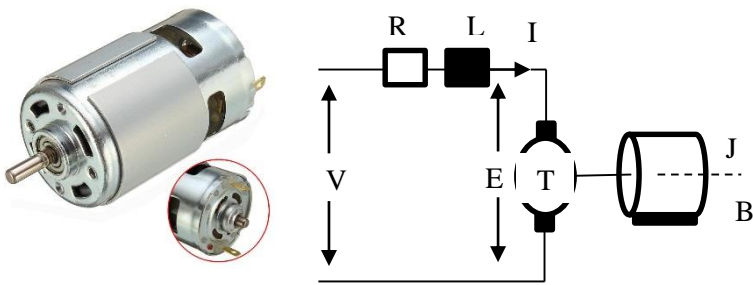
Gambar 2. 4 Sensor Posisi CPMS10[12]

Modul ini terdiri dari magnetometer 3 poros dan accelerometer 3 poros serta dilengkapi dengan processor 16 bit. Sedangkan, *output* dari sensor ini adalah bernilai desimal dengan rentang pengukuran sudut *pitch* adalah -90° sampai 90° dan sudut *yaw* adalah 0° hingga 360° sedangkan *output* sensor memiliki format bilangan decimal -90 sampai 90 untuk sudut *pitch* dan 0 sampai 359.9 untuk sudut *yaw*. resolusi pengukuran sudut *pitch* dan *yaw* PV panel adalah masing- masing 1° dan 0.1° . Sensor ini juga dilengkapi dengan piranti *auto calibration* untuk menghilangkan *offset* yang disebabkan oleh pengaruh sumber elektromagnetik disekitar objek pengukuran [12]. *Output* sensor *pitch* dan *yaw* dapat dituliskan dengan :

$$Ksp, sy = \begin{matrix} 1 & \rightarrow pitch \\ 0,999 & \rightarrow yaw \end{matrix} \quad (2.5)$$

2.4 Motor DC

Motor DC adalah sebuah motor digerakkan energi listrik arus searah. Motor DC dapat bergerak ketika arus listrik mengalir masuk pada kumparan medan (stator) yang kemudian menghasilkan medan magnet yang melingkupi kumparan jangkar (rotor) dengan arah tertentu. Motor dc dapat dimodelkan dengan kombinasi struktur listrik dan struktur mekanik. Struktur listrik adalah model rangkaian listrik dari belitan armatur yaitu tahanan yang terhubung seri dengan impedans belitan armatur. Struktur mekanik adalah momen inersia di rotor dan beban serta gesekan yang terjadi karena ada pergerakan mekanik [13]. Rangkaian skematik untuk model motor dc ditunjukkan oleh Gambar 2.5



Gambar 2. 5 Motor DC dan Rangkaian Ekuivalen [13]

Dari rangkaian listrik dapat dibuat persamaan tegangan menurut hukum Kirchoff tegangan seperti dinyatakan oleh persamaan (2.6). [14]

$$V(t) = R_a \cdot I_a(t) + L_a \cdot \frac{di(t)}{dt} + Eb(t) \quad (2.6)$$

Dengan :

R = tahanan belitan armatur (Ω)

L = impedans belitan armatur (H)

$I_a(t)$ = arus armatur

$e_b(t)$ = tegangan induksi di armatur (V)

$v(t)$ = tegangan terminal motor (V)

Ketika motor bergerak dengan kecepatan tertentu maka akan muncul tegangan balik (e.m.f) yang besarnya berbanding lurus dengan kecepatannya dan dinyatakan dalam persamaan berikut :

$$Eb(t) = K_b \cdot \omega(t) \quad (2.7)$$

Sedangkan torsi yang dihasilkan oleh motor didapatkan berdasarkan Hukum Newton Kedua tentang gerak rotasi seperti persamaan dibawah ini:

$$Tm(t) = Jm \cdot \frac{d\omega(t)}{dt} + Bm \cdot \omega(t) \quad (2.8)$$

$$Tm(t) = Kt \cdot Ia(t) \quad (2.9)$$

Berdasarkan persamaan 2.7 dapat disubstitusikan ke persamaan 2.6 menjadi persamaan 2.10. dan persamaan 2.9 disubstitusikan ke persamaan 2.8 sehingga menjadi persamaan 2.11.

$$V(t) = R_a \cdot Ia(t) + L_a \cdot \frac{di(t)}{dt} + K_b \cdot \omega(t) \quad (2.10)$$

$$Kt \cdot Ia(t) = Jm \cdot \frac{d\omega(t)}{dt} + Bm \cdot \omega(t) \quad (2.11)$$

Pada persamaan (2.10) dan (2.11) ditransformasi laplace menjadi seperti dibawah ini:

$$V(s) = R_a \cdot Ia(s) + L_a \cdot Ia(s)S + K_b \cdot \omega(s) \quad (2.12)$$

$$Kt \cdot Ia(s) = Jm \cdot \omega(s)S + Bm \cdot \omega(s) \quad (2.13)$$

Dengan mensubstitusikan arus yang ada pada persamaan (2.13) kedalam persamaan (2.12) maka didapatkan persamaan (2.14) sebagai berikut

$$V(s) = \omega(s) \frac{1}{Kt} \cdot [L_a \cdot Jm \cdot S^2 + (Ra \cdot Jm + La \cdot Bm)S + (Ra \cdot Bm + Kb \cdot Kt)] \quad (2.14)$$

Hubungan antara kecepatan *shaft* rotor dan penggunaan tegangan *armature* dapat digambarkan dalam fungsi transfer pada persamaan dibawah ini:

$$\frac{\omega(s)}{V(s)} = \frac{Kt}{[L_a \cdot Jm \cdot S^2 + (Ra \cdot Jm + La \cdot Bm)S + (Ra \cdot Bm + Kb \cdot Kt)]} \quad (2.15)$$

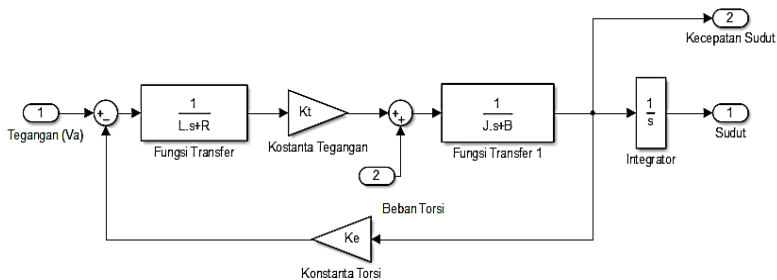
Hubungan antara posisi dan kecepatan yaitu

$$\theta(s) = \frac{1}{s} \omega(s) \quad (2.16)$$

Fungsi transfer antara posisi *shaft* dan tegangan *armature* pada saat terdapat beban ialah sebagai berikut:

$$\frac{\theta(s)}{V(s)} = \frac{Kt}{[L_a \cdot Jm \cdot S^2 + (Ra \cdot Jm + La \cdot Bm)S + (Ra \cdot Bm + Kb \cdot Kt)]} \quad (2.17)$$

Menurut persamaan (2.15) dapat digambarkan ke dalam model Matlab/Simulink untuk Motor DC yaitu.



Gambar 2. 6 Simulink Model Motor DC

Gambar 2.6 merupakan gambar simulink model motor DC yang akan digunakan pada simulasi sistem. Input terdiri dari 2 yaitu tegangan (V_a) dan beban torsi. 2 fungsi transfer dimana pada fungsi transfer pertama yaitu fungsi transfer resistansi dan induktansi motor DC, fungsi transfer kedua yaitu inersia motor dan *viscous friction coefficient*. Nilai konstanta tegangan (K_e) dan konstanta torsi (K_t) berfungsi sebagai gain pada motor DC ini,

beban torsi merupakan nilai yang mempengaruhi inersia motor. *Output* terdapat dua yaitu kecepatan sudut dan sudut

2.5 Posisi Matahari

Posisi matahari ditentukan berdasarkan sudut elevasi (α) dan sudut azimuth (β). Kedua posisi sudut tersebut berubah setiap waktu sepanjang tahun. Untuk mengetahui posisi matahari secara garis besar diperlukan dua parameter, yaitu lokasi tempat mengukur dan waktu pengukuran. Parameter yang terkait lokasi adalah koordinat bujur dan lintang. Parameter yang terkait waktu adalah jam dan tanggal. Disuatu lokasi di permukaan bumi pada jam dan tanggal yang sama, matahari berada pada posisi yang sama untuk tahun yang berbeda. [15] Penjejak *solar path* akan berkerja dengan baik ketika sudut pitch dan yaw pada photovoltaic dapat menjejak sudut azimuth dan *altitude*. Sudut azimuth (γ) dan *altitude* (α) dapat dihitung dengan persamaan (2.19) dan (2.20) [4]

$$\theta_z = \cos^{-1}(\sin \delta \sin \phi + \cos \delta \cos \omega \cos \phi) \quad (2.18)$$

$$\alpha = 90 - \theta_z \quad (2.19)$$

$$\gamma = \cos^{-1} \left(\frac{\cos \delta \cos \omega \sin \phi}{\sin \theta_z} - \frac{\sin \delta \cos \phi}{\sin \theta_z} \right) \quad (2.20)$$

Sudut deklansi dapat dihitung dengan menggunakan persamaan (2.21).

$$\delta = 23.45 \sin \left[360 \frac{(284+n)}{365} \right] \quad (2.21)$$

Jika parameter pada permukaan *tracking* ialah sudut datang (θ_i), sudut pitch (β) dan sudut yaw (γ_s), dapat dihitung dengan menggunakan persamaan (2.26).

$$\theta_i = \cos^{-1}(\cos \theta_z \cos \beta + \sin \theta_z \sin \beta \cos(\gamma_s - \gamma)) \quad (2.22)$$

$$\gamma_s = \sigma_{ew} \sigma_{ns} \gamma_{so} + \left(\frac{1 - \sigma_{ew} \sigma_{ns}}{2} \right) \sigma_w 180^\circ \quad (2.23)$$

Dimana:

$$\gamma_{so} = \sin^{-1} \left(\frac{\sin \omega \cos \delta}{\sin \theta_z} \right) \quad (2.24)$$

$$\sigma_{ew} = 1 \text{ if } |\omega| < \omega_{ew}$$

$$-1 \text{ otherwise}$$

$$\sigma_{ns} = 1 \text{ if } \varphi(\varphi - \delta) \geq 0$$

$$-1 \text{ otherwise}$$

$$\sigma_w = 1 \text{ if } \omega \geq 0$$

$$-1 \text{ otherwise}$$

$$\omega_{ew} = \cos^{-1}(\cos \phi \tan \delta)$$

Keterangan :

n = hari dalam setahun (1 tahun = 365 hari)

β = surface slope

γ = surface azimuth

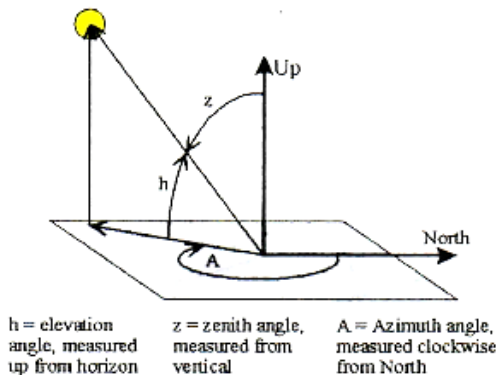
γ_s = azimuth matahari

θ_z = sudut zenith

δ = deklinasi

ω = sudut jam

ϕ = lintang



Gambar 2. 7 Matahari Pada Koordinat Horizontal [15]

2.6 Sistem Penjejak Matahari (*Solar Tracker*)

Sistem Penjejak matahari merupakan suatu perangkat yang digunakan untuk mengarahkan Photovoltaic, reflektor, lensa dan perangkat optik lainnya menghadap matahari secara tegak lurus. *Solar tracker* akan menambah efisiensi dari sistem dan mengurangi biaya per kWh. Ada beberapa jenis *solar tracker*. Dua kategori *solar tracker* adalah single- axis *solar tracker* dan dual- axis *solar tracker*. Single- Axis *solar tracker* mengikuti arah datang matahari dengan akurat sehingga dapat memaksimalkan output PV.

Single- Axis *solar tracker* dapat memiliki sumbu horizontal maupun vertikal. Jenis horizontal digunakan di daerah tropis yang matahari dapat sangat tinggi pada siang hari namun memiliki hari yang pendek. Tipe vertikal digunakan di lintang tinggi yang matahari tidak terlalu tinggi, tetapi memiliki hari- hari musim panas yang panjang . Dual- Axis *Solar Tracker* bergerak dengan dua sumbu untuk mengarahkan langsung menuju matahari, dan memanfaatkan energi matahari secara maksimal. [16] *Solar tracker* memiliki sumbu horizontal dan vertikal yang dapat melacak gerakan matahari yang nyata hampir dimana saja.



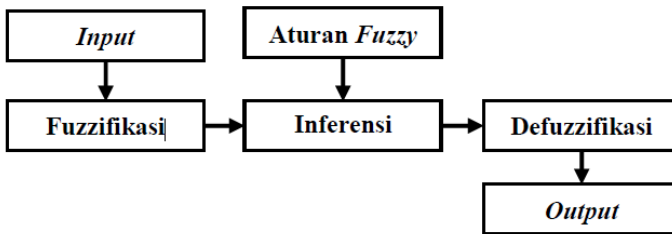
Gambar 2. 8 Single Axis Tracker[17]

Sistem pelacak matahari terdiri dari dua jenis *solar tracking* yaitu aktif dan pasif. *active tracker* mengukur intensitas cahaya dari matahari dengan menggunakan sensor cahaya untuk

menentukan di mana panel pv harus mengarah. Pada *active tracker* menggunakan sensor LDR yang digunakan untuk menangkap radiasi matahari. Jika PV tidak tegak lurus terhadap matahari secara langsung akan ada perbedaan intensitas cahaya pada satu sensor cahaya dibandingkan dengan yang lain dan menyebabkan untuk menentukan ke arah mana PV harus dimiringkan dengan bantuan stepper atau motor dc agar dapat menghadap ke matahari [17]. Sedangkan *solar tracking* pasif menggunakan perhitungan astronomi untuk mengetahui pergerakan posisi matahari [16].

2.7 Fuzzy Logic Controller

Pengendali Fuzzy merupakan suatu sistem kendali yang berdasar pada basis pengetahuan manusia, dimana input, *output*, serta tanggapan sistem diperoleh berdasarkan sistem pakar yang berbasis pengetahuan manusia. Logika fuzzy menginterpretasikan statemen yang samar menjadi sebuah pengertian yang logis [18]. Pada dasarnya struktur logika fuzzy dapat digambarkan seperti pada gambar 2.9



Gambar 2. 9 Sistematika Fuzzy Logic Controller [18]

Fungsi dari bagian-bagian diatas adalah sebagai berikut:

- **Input**
Masukkan pada *fuzzy logic* berupa *crisp* (variabel fisis) atau bilangan *real*.
- **Fuzzifikasi**
Fuzzifikasi diperlukan untuk mengubah input tegas/nyata (*crisp inputs*) yang bersifat bukan Fuzzy ke dalam himpunan

Fuzzy. Data yang berbentuk tegas/nyata (*crisp*), dipetakan menjadi nilai linguistik pada semesta pembicaraan tertentu yang selanjutnya dinamakan input Fuzzy.

- **Rule Base**

Rule base pada *fuzzy* digunakan untuk menghubungkan variabel-variabel input dan variabel-variabel *output*. Basis aturan Fuzzy merupakan kumpulan pernyataan aturan ‘JIKA-MAKA’ atau ‘IF–THEN’ yang didasarkan pada pengetahuan manusia untuk mengolah variabel input sehingga menghasilkan variabel *output* dalam bentuk himpunan Fuzzy.

- **Inference**

Inferensi adalah proses transformasi dari suatu *input* dalam domain fuzzy ke suatu *output* (sinyal kendali) dalam domain fuzzy. Proses transformasi pada bagian inferensi membutuhkan aturan–aturan fuzzy yang terdapat didalam *rule base*.

- **Defuzzifikasi**

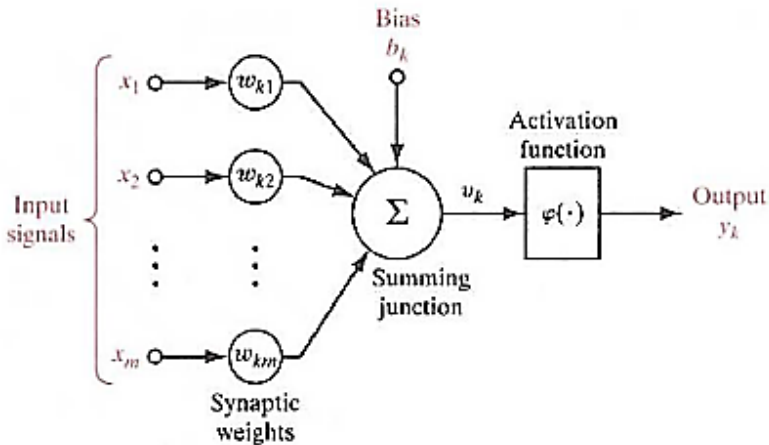
Defuzzifikasi ditujukan untuk menghasilkan suatu aksi kontrol *non Fuzzy* (*crisp output*) dalam merepresentasikan kemungkinan distribusi aksi kontrol Fuzzy yang telah dihasilkan. Metode defuzzifikasi yang sering digunakan adalah metode *Mean of Maximum* (MOM) dan metode rata-rata terbobot (*weighted average*) atau lebih dikenal sebagai *Center of Area* (COA). Metode MOM, solusi *crisp* diperoleh dengan cara mengambil nilai rata-rata domain yang memiliki nilai keanggotaan maksimum. *Output* pada proses defuzzifikasi merupakan hasil dari proses kendali fuzzy secara keseluruhan. *Output* ini berupa himpunan *crisp* yang akan mengendalikan sistem yang dikontro. [19]

2.8 Neural Network (NN)

Jaringan saraf tiruan (neural network) merupakan salah satu aplikasi buatan manusia yang selalu mencoba untuk mensimulasikan proses pembelajaran pada otak manusia tersebut. Istilah tiruan digunakan karena jaringan saraf ini meniru cara kerja jaringan saraf biologis pada manusia dan diimplementasikan dengan menggunakan program komputer yang mampu

menyelesaikan sejumlah proses perhitungan selama proses pembelajaran.

Ada beberapa tipe jaringan saraf tiruan, namun demikian hampir semuanya memiliki komponen-komponen yang sama. Jaringan saraf tiruan disusun dengan asumsi yang sama seperti jaringan saraf biologis yakni terdiri dari beberapa node dan adanya hubungan antara node. Sinyal informasi yang terdapat di antara 2 buah node diteruskan melalui sebuah hubungan dan setiap hubungan antara 2 buah node mempunyai nilai bobot lalu dengan menggunakan fungsi aktivasi nilai keluaran node ditentukan Gambar 2.11 merupakan struktur node jaringan saraf tiruan. [20]



Gambar 2. 10 Struktur Node Jaringan Saraf Tiruan [21]

Pada gambar di atas, Y menerima masukan dari neuron x_1 , x_2 , dan x_3 , dengan bobot hubungan masing-masing adalah w_1 , w_2 , dan w_3 . Ketiga impuls neuron yang ada dijumlahkan menjadi:

$$\text{Net} = x_1w_1 + x_2w_2 + x_3w_3 \quad (2.25)$$

Besarnya impuls yang diterima oleh Y mengikuti fungsi aktivasi $y = f(\text{net})$. Apabila nilai fungsi aktivasi cukup kuat, maka sinyal akan

diteruskan. Nilai fungsi aktivasi (keluaran model jaringan) juga dapat dipakai sebagai dasar untuk mengubah bobot. [21]

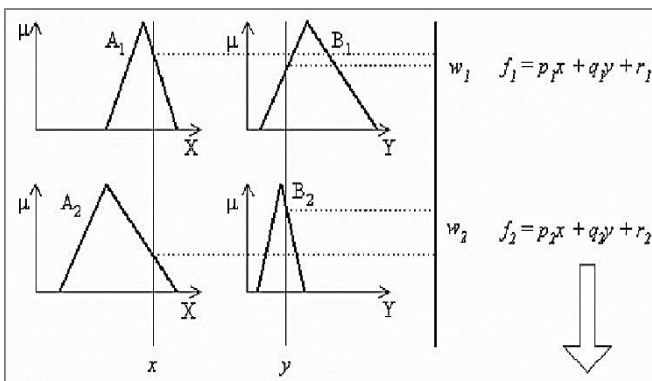
2.9 Adaptive Neuro-Fuzzy Control (ANFUC)

Adaptive Neuro-Fuzzy Control (ANFUC) adalah penggabungan mekanisme fuzzy inference system yang digambarkan dalam arsitektur jaringan syaraf. Sistem *inferensi fuzzy* yang digunakan adalah sistem inferensi fuzzy model Tagaki-Sugeno-Kang (TSK) orde satu dengan pertimbangan kesederhanaan dan kemudahan komputasi. Bisa dikatakan bahwa ANFUC adalah suatu metode yang mana dalam melakukan penyetelan aturan digunakan algoritma pembelajaran terhadap sekumpulan data. Pada ANFUC juga memungkinkan aturan-aturan untuk beradaptasi.

Berikut ini salah satu contoh ilustrasi mekanisme inferensi fuzzy TSK orde satu dengan dua masukan x dan y (Gambar 2.11). Basis aturan dengan dua aturan fuzzy *if-then* seperti dibawah ini:

Rule 1: *if* x *is* A_1 *and* y *is* B_1 *then* $f_1 = p_1x + q_1y + r_1$
premis *consequent*

Rule 2: *if* x *is* A_2 *and* y *is* B_2 *then* $f_2 = p_2x + q_2y + r_2$
premis *consequent*



Gambar 2. 11 Sistem Inferensi Fuzy Takagi Sugeno-Kang [22]

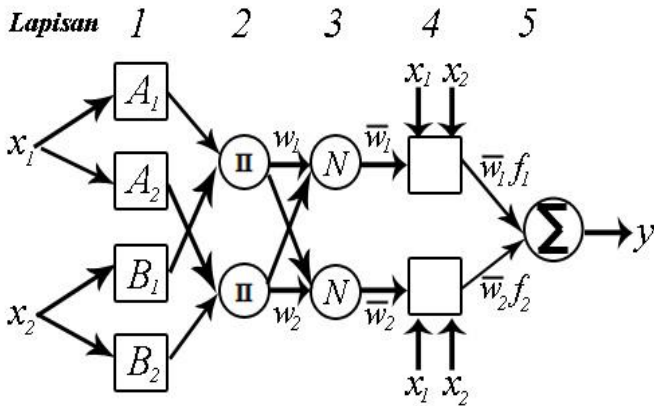
Input: x and y

Consequent: f

Keluaran *fuzzy* dapat dibuat dalam bentuk persamaan sebagai berikut:

$$y = \frac{w_1 f_1 + w_2 f_2}{w_1 + w_2} = \bar{w}_1 f_1 + \bar{w}_2 f_2 \quad (2.26)$$

Struktur ANFIS yang menggambarkan sistem fuzzy Takagi-Sugeno-Kang (TSK) seperti di atas bisa digambarkan dalam diagram blok atau disebut arsitektur jaringan syaraf *feedforward* seperti pada Gambar 2.12



Gambar 2. 12 Arsitektur Jaringan ANFUC [22]

Pada gambar terlihat bahwa arsitektur ANFUC terdiri atas 5 lapis dan setiap lapis mempunyai fungsi yang berbeda. Terdapat simpul disetiap lapisan yang memiliki dua bentuk yang berbeda. Simpul adaptif (bersymbol kotak) dan simpul tetap (bersymbol lingkaran). Fungsi dari setiap lapis adalah sebagai berikut :

Lapisan 1:

Lapisan ini merupakan lapisan *fuzzifikasi*. Pada lapisan ini tiap neuron adaptif terhadap parameter suatu aktivasi. Output dari tiap neuron berupa derajat keanggotaan yang diberikan oleh fungsi keanggotaan *input*. Misalkan fungsi keanggotaan *Triangular-shaped* diberikan sebagai.

$$\mu(Z, a, b, c) = \begin{cases} 0, & x \leq a \\ \frac{x-a}{b-a}, & a \leq x \leq b \\ \frac{c-x}{c-b}, & b \leq x \leq c \\ 0, & c \leq x \end{cases} \quad (2.27)$$

Dengan Z adalah *input*, dalam hal ini $Z = \{Z_1 + Z_2\}$ dan $a, b, \text{ dan } c$ adalah parameter-parameter, biasanya $b = 1$. Jika nilai parameter-parameter ini berubah, maka bentuk kurva yang terjadi akan ikut berubah. Parameter-parameter ini biasanya disebut dengan nama parameter premis.

Lapisan 2:

Lapisan ini berupa neuron tetap (diberi simbol Π) merupakan hasil kali dari semua input, sebagai berikut.

$$W_i = \mu_{Ai} \cdot \mu_{Bi} \quad (2.28)$$

Biasanya digunakan operator *AND*. Hasil perhitungan ini disebut *firing strength* dari sebuah aturan. Tiap neuron merepresentasikan aturan ke- i .

Lapisan 3:

Tiap neuron pada lapisan ini berupa neuron tetap (diberi simbol N) merupakan hasil perhitungan rasio dari *firing strength* e- i (w_i) terhadap jumlah dari keseluruhan *firing strength* pada lapisan kedua, sebagai berikut:

$$\bar{w}_t = \frac{w_i}{w_1 + w_2}, i = 1, 2 \quad (2.29)$$

Hasil perhitungan ini disebut *normalized firing strength*.

Lapisan 4:

Lapisan ini berupa neuron yang merupakan neuron adaptif terhadap suatu output, sebagai berikut.

$$\bar{w}_i f_i = \bar{w}_i (p_i Z_{1,t} + q_i Z_{2,t} + r_i) \quad (2.30)$$

dengan \bar{w}_i adalah *normalized firing strength* pada lapisan ketiga dan p_i, q_i dan r_i adalah parameter-parameter pada neuron tersebut. Parameter-parameter ini biasa disebut parameter konsekuen.

Lapisan 5:

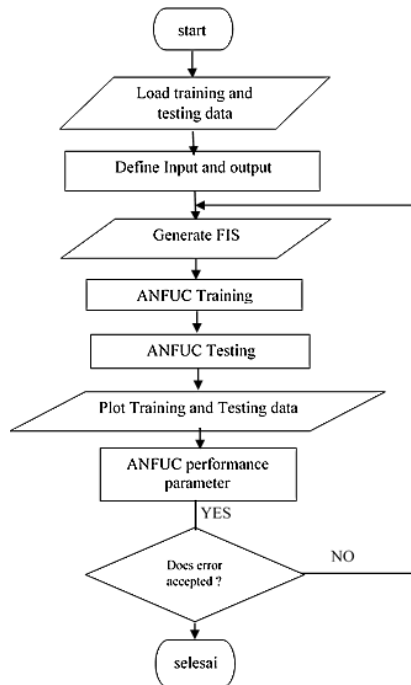
Lapisan ini berupa neuron tunggal (diberi simbol Σ) merupakan hasil penjumlahan seluruh output dari lapisan keempat, sebagai berikut.

$$\sum_i \bar{w}_i f_i = \frac{\sum_i w_i f_i}{\sum_i w_i} \quad (2.31)$$

Kelima lapisan ini ekuivalen dengan sistem inferensi Fuzzy Takagi-Sugeno.

Proses prediksi di dalam ANFUC diawali dengan menetapkan parameter awal seperti tipe *membership function*, *error goal*, dan *epoch*. Kemudian dilakukan proses *training* dan *testing* sampai ditemukan model yang terbaik yang selanjutnya akan dibuat acuan dalam proses prediksi. Inisialisasi awal kontroler ANFUC bertujuan untuk menentukan nilai parameter awal dari fungsi keanggotaan himpunan fuzzy berdasarkan perancangan ANFUC yang telah ditentukan sebelumnya

Untuk lebih jelasnya adapun tahapan-tahapan dalam perancangan sistem kontrol ANFUC, yang akan dijelaskan pada gambar 2.13 merupakan *flowchart* dari *Adaptive Neuro Fuzzy Control* (ANFUC)



Gambar 2. 13 Flowchart *Adaptive Neuro Fuzzy Control (ANFUC)* [23]

Setelah proses inialisasi awal, dilakukan proses pembelajaran/ training pada nilai-nilai awal dengan menggunakan data training tiap subsystem yang telah diperoleh. Proses pembelajaran dimulai dengan me-load data training dari workspace, kemudian membangkitkan file fuzzy .fis hasil inialisasi awal dengan me-load from file. Proses training FIS dilakukan dengan memilih algoritma pembelajaran. hybrid, lalu menentukan target learning error serta jumlah iterasi/ epoch yang diinginkan. Setelah target error ataupun jumlah iterasi terpenuhi, proses training akan berhenti.

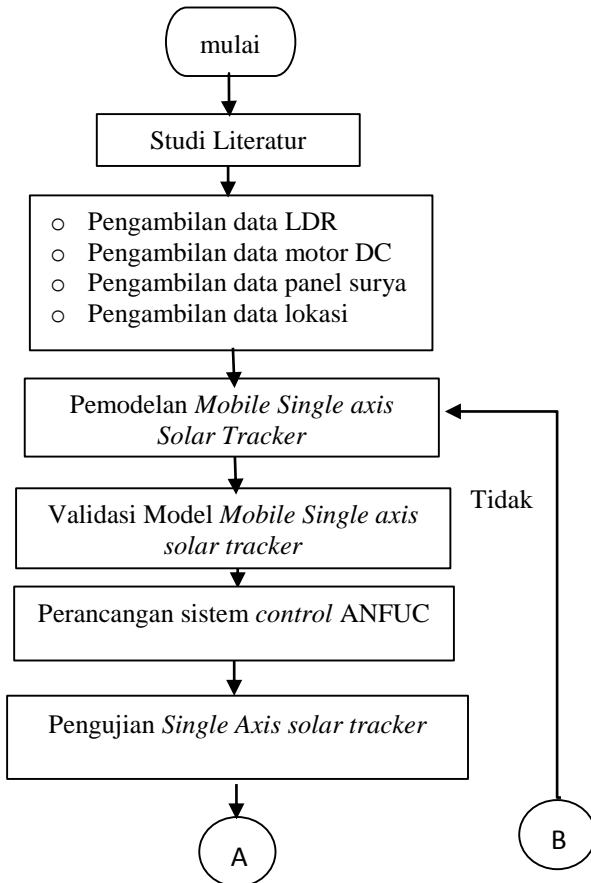
Setelah proses pembelajaran selesai, didapatkan *file* FIS baru dengan nilai parameter-parameter yang telah di-update

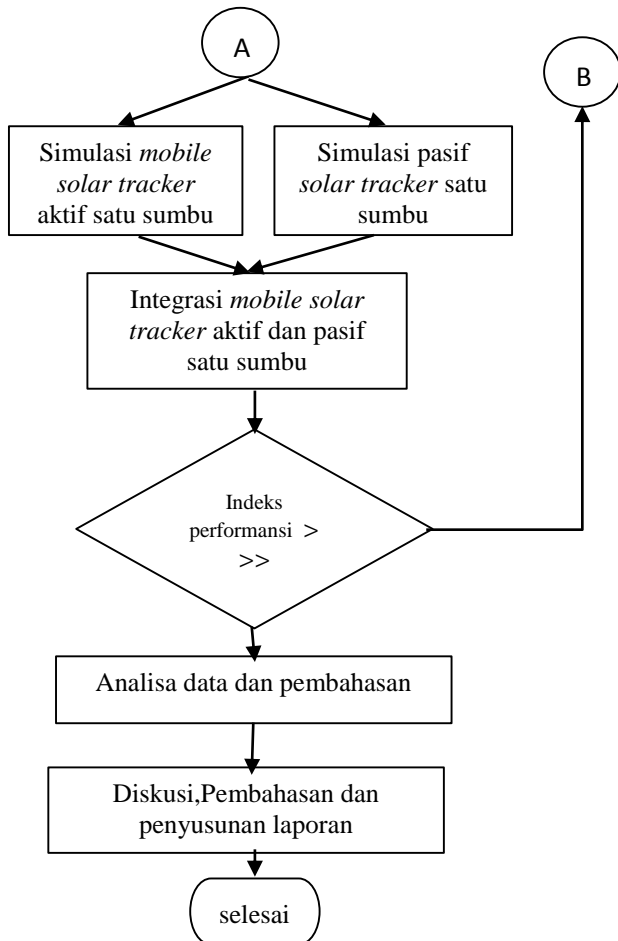
berdasarkan hasil pembelajaran. FIS akhir hasil *training* kemudian digunakan untuk proses aplikasi sebagai kontroler pada sistem.
[23]

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Diagram Alir

Dalam penelitian tugas akhir ini, terdapat beberapa tahapan. Pada gambar 3.1 merupakan diagram alir dari penelitian yang akan dilakukan.





Gambar 3. 1 Diagram Alir Penelitian

3.2 Studi Literatur

Dalam penelitian ini dilakukan studi literatur yang bertujuan untuk mempelajari teori-teori dasar yang berkaitan dengan lingkup pelaksanaan tugas akhir ini, sehingga diperoleh pengetahuan dasar untuk pengolahan data dan pemecahan masalah. Studi literatur ini juga dilakukan untuk menentukan komponen-

komponen yang digunakan dan program yang akan dibuat. Pencarian dari jurnal-jurnal nasional maupun internasional mengenai sistem penjejak matahari satu sumbu dengan metode *electrooptic* (aktif) maupun *solar path* (pasif), implementasi sistem kontrol ANFUC (*Adaptive Neuro Fuzzy Control*) dalam sistem penjejak matahari dan unjuk kerja pada sistem penjejak matahari.

3.3 Pengambilan Data Awal

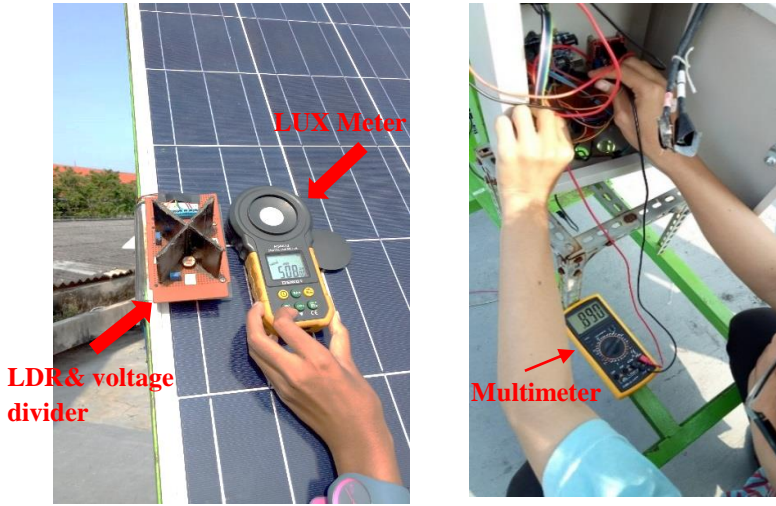
Pengambilan data yang diperlukan dalam tugas akhir ini berupa pemodelan dan simulasi pada sistem *solar tracker* aktif maupun pasif, adapun data yang diambil dari sistem *solar tracker* aktif maupun pasif meliputi data dari sensor LDR berdasarkan *input* dan *output* yang dihasilkan oleh LDR, pengambilan data astronomi (*altitude*), data dari motor DC berdasarkan spesifikasi motor DC yang dipakai, data panel surya berdasarkan dimensi panel maupun eksperimen, dan *controller*.

3.3.1 Pengambilan data LDR

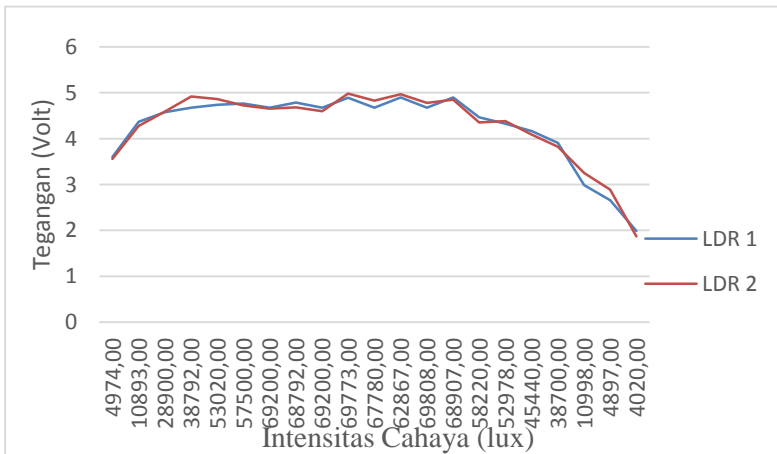
Pada perancangan aktif *mobile single axis solar tracker* menggunakan 2 buah sensor LDR dalam penjejakannya, yaitu LDR timur dan LDR barat yang digunakan untuk mendeteksi posisi *altitude* matahari berdasarkan intensitas yang diterima oleh masing-masing LDR.

Adapun data yang diambil berupa intensitas cahaya (lux) berbanding dengan resistansi (Ω), serta intensitas cahaya (lux) berbanding dengan tegangan LDR. Alat yang digunakan dalam pengambilan data adalah multimeter sebagai alat ukur nilai hambatan dari LDR serta nilai tegangan *output* dari LDR, adaptor 5 VDC sebagai tegangan sumber, *lux meter* sebagai intensitas cahaya yang diterima oleh sensor serta rangkaian *voltage divider* yang berfungsi untuk merubah nilai resistansi menjadi tegangan. Pada rangkaian *voltage divider* dirangkai secara seri dan dihubungkan dengan resistor 1000 Ω . Grafik perbandingan antara intensitas cahaya (lux) dengan resistansi (Ω) serta intensitas cahaya (lux) dengan tegangan (v) dapat disajikan pada gambar 3.3 serta *set*

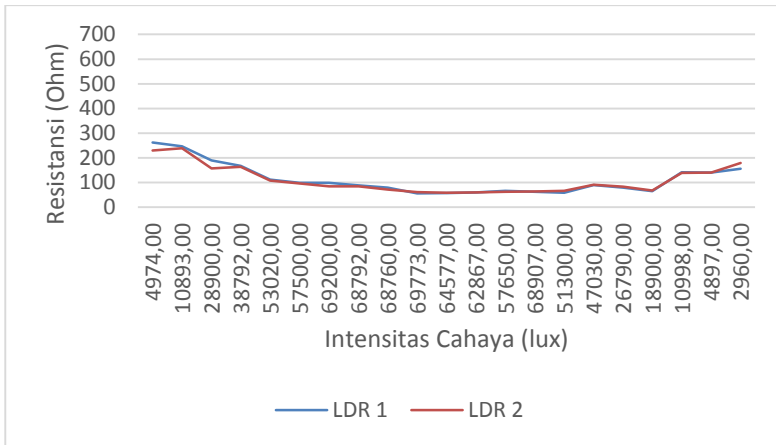
up pengambilan data LDR dapat dilihat pada gambar 3.2 sebagai berikut



Gambar 3. 2 Set up Pengambilan data LDR



Gambar 3. 3 Grafik Intensitas cahaya (Lux) Terhadap Tegangan



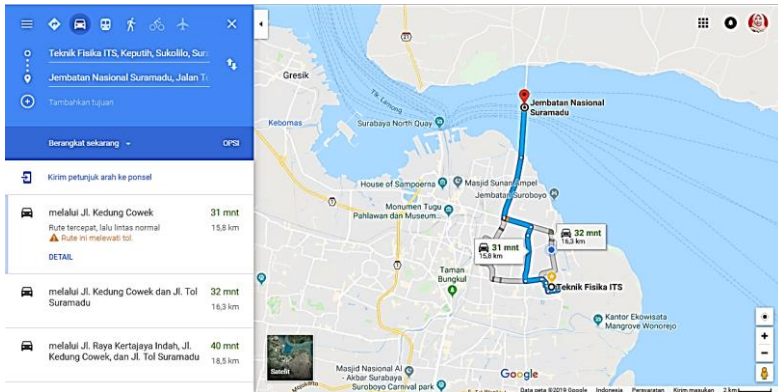
Gambar 3. 4 Grafik Intensitas cahaya (lux) Terhadap

Pada gambar 3.3 dan 3.4 menunjukkan hubungan antara intensitas cahaya (lux) dan resistansi (Ω), dimana pada grafik dapat diketahui hubungan antara intensitas cahaya (lux) dengan resistansi (Ω) berbanding terbalik. Semakin tinggi nilai intensitas cahaya (lux) semakin rendah nilai tegangannya, hal ini dikarenakan hubungan antara *input-ouput* LDR memiliki karakteristik *non linier*. Sedangkan hubungan antara nilai intensitas cahaya (lux) dengan tegangan berbanding lurus. Semakin tinggi intensitas yang ditangkap oleh LDR maka semakin besar pula tegangan yang dihasilkan oleh LDR.

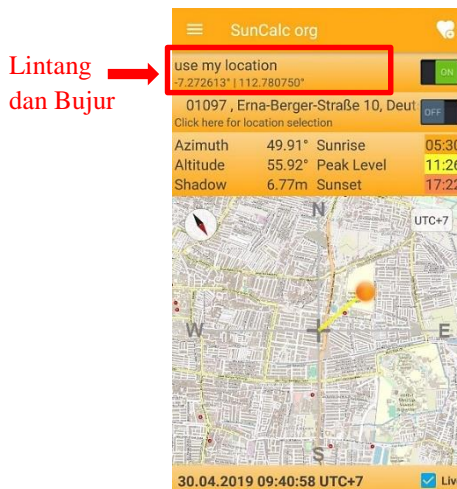
3.3.2 Pengambilan Data Posisi Mathari

Dalam pasif *tracking* menggunakan perhitungan astronomi sebagai penjejakannya. Posisi matahari digunakan untuk menentukan sudut *altitude* berdasarkan hubungan geometri antara matahari dan bumi. Pada sistem *mobile solar tracker* ini pengambilan data dilakukan secara *mobile* sehingga disetiap perubahan lokasi dan waktu akan merubah nilai *set point* yang berupa sudut *altitude* matahari. Pengambilan data posisi matahari dilakukan di sepanjang jalan Teknik fisika ITS sampai jembatan suramadu surabaya. Di sepanjang jalan pengambilan data,

ditentukan 6 titik lokasi pengambilan data posisi matahari dari titik awal teknik fisika ke titik akhir jembatan suramadu yang dilakukan pada tanggal 30 April 2019 pada pukul 07.00 WIB sampai pukul 17.00 WIB.



Gambar 3. 5 Rute Pengambilan Data Posisi Matahari

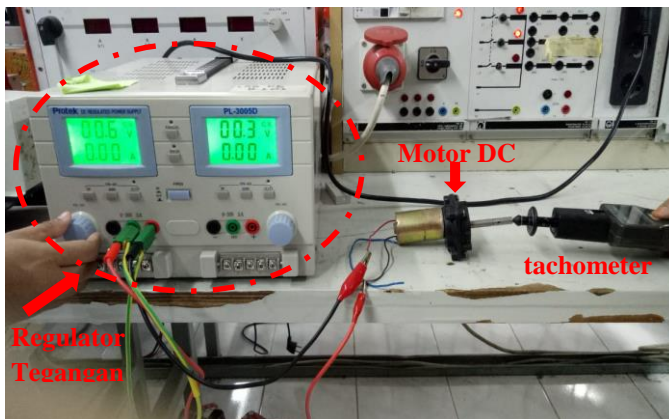


Gambar 3. 6 Pengambilan data Lintang dan Bujur dengan *SunCalc* App

3.3.3 Pengambilan Data Motor DC

Motor DC yang digunakan pada sistem ini adalah motor DC dengan tegangan 12 V. Motor DC digunakan untuk menggerakkan panel surya bergerak dari arah timur ke barat maupun sebaliknya (sudut *pitch*). Pengambilan motor DC bertujuan untuk mengetahui parameter-parameter yang akan digunakan pada pemodelan *solar tracker*. Adapun parameter-parameter yang digunakan untuk pemodelan antara lain Konstanta tegangan (K_e), Konstanta Torsi (K_t), Inersia Motor (J_m), Resistansi Motor (R), Induktansi Motor (L), dan *Viscous Friction Coefficient* (B_m).

Adapun alat yang digunakan untuk pengambilan data motor DC adalah *tachometer*, regulator tegangan, *stopwatch*, RCL meter dan *stopwatch*. Pengambilan motor DC ini dilakukan secara langsung di Laboratorium Konversi Energi Teknik Elektro ITS. Pengambilan data dilakukan dengan metode *reverse* dimana nilai yang ditentukan yaitu nilai tegangan (*volt*) dengan rentang dari 2-12 volt, data yang didapat berupa nilai rpm dari setiap tegangan yang diatur oleh regulator. Dan data resistansi (R) serta induktansi (L) di dapat dari pengukuran langsung dari rcl meter.



Gambar 3. 7 Set Up Alat Untuk Pengambilan Motor DC



Gambar 3. 8 Pengambilan data R dan L

Data yang diperoleh kemudian digunakan untuk menghitung parameter-parameter motor DC dengan menggunakan persamaan berikut :

- Konstanta Tegangan (K_e)

Nilai konstanta tegangan motor DC berasal dari input nilai tegangan (2-12 Volt) yang terhubung dengan *power supply DC* dan *tachometer* yang berfungsi untuk mengetahui rpm yang dihasilkan dari motor DC. Pengambilan nilai rpm dilakukan sebanyak 3 kali setiap variasi tegangan yang diberikan.

- Konstanta Tegangan (K_e)

$$K_e = \frac{V}{\omega(\text{rad/sec})} \quad (3.1)$$

- Konstanta Torsi (K_t)

Konstanta torsi didapatkan dari persamaan 3.2 sebagai berikut:

$$K_t = \frac{K_e}{0.011827} \quad (3.2)$$

- Inersia Motor (J_m)

Inersia Motor didapatkan dari persamaa 3.3 sebagai berikut.

$$Jm = \frac{\text{Akselerasi Torsi}}{\text{Akselerasi}} \quad (3.3)$$

$$\text{Akselerasi Torsi } (Tm) = (Kt \cdot I_{max}) - (Kt \cdot I_{min}) \quad (3.4)$$

$$\text{Akselerasi } (a) = \frac{\Delta\omega}{\Delta t} = \frac{\omega_2 - \omega_1}{t_2 - t_1} \quad (3.5)$$

- Resistansi Motor (R) dan Induktansi Motor (L)

Nilai resisntasi dan induktansi motor didapatkan dari pengukuran, yaitu dengan cara menghubungkan kutub positif dan kutub negatif pada motor DC ke LCR meter. Pengambilan data dilakukan sebanyak 20 kali dan setelah itu dirata-rata hasilnya.

- *Viscous Friction Coefficient* (Bm)

Viscous Friction Coefficient (Bm) didapatkan dari persamaan 3.6 sebagai berikut.

$$Jm \frac{d\omega(t)}{dt} + B\omega = Tm(t) \quad (3.6)$$

Berdasarkan persamaan 3.1, 3.2, 3.3, dan 3.6, nilai yang didapatkan untuk parameter yang digunakan untuk pemodelan motor DC pada *simulink* matlab dapat ditunjukkan pada tabel 3.1 sebagai berikut:

Tabel 3. 1 Parameter motor DC

Parameter-parameter	Motor Dc
Resistansi (R) Ohm	2,055
Induktasnsi (L) Henry	0,005833
konstanta tegangan (Ke) Vol.sec/rad	28,52839
Konstanta Torsi (Kt) Nm/A	28,52839
Momen Inesia (J) Nms ²	45,66596
Koefisien Gesekan (B) Nms/rad	0,678999

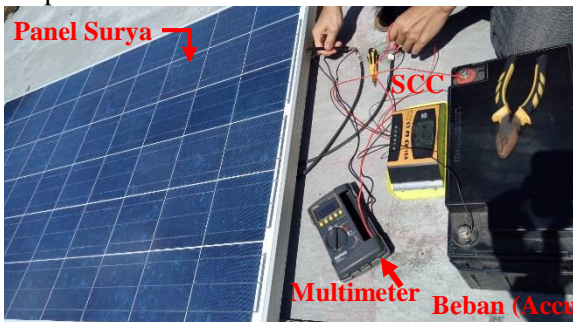
3.3.4 Pengambilan Data Panel Surya

Pada panel surya, *input* yang digunakan adalah radiasi matahari dan temperatur, dimana data radiasi dan temperatur didapat dari data primer dimana data tersebut diambil secara langsung. Adapun beberapa parameter yang digunakan untuk pemodelan panel surya di *simulink* matlab dimana data tersebut didapat dari *datasheet* spesifikasi *photovoltaic* adalah sebagai berikut :

Tabel 3. 2 Parameter Panel surya

Parameter-Parameter	Nilai Parameter
Temperature Coeff of Short Circuit Voltage (Φ)	-0.0036V/°C
Temperature Coeff of Short Circuit Curent (μ)	0.00053 A/°C
Pmax (<i>Maximum Power</i>)	250 W
PV Internal Resistance (R_{pv})	0.15603 Ohm
Imp (<i>Maximum Power Current</i>)	8.34 A
Vmp (<i>Maximum Power Voltage</i>)	30 V
Voc (<i>Open Circuit Voltage</i>)	36.8 V
Isc ++(<i>Short Circuit Current</i>)	9 A

Nilai parameter-parameter tersebut digunakan untuk pemodelan pada matlab *simulink*.



Gambar 3. 9 Set Up alat pagambilan Data panel surya

3. 4 Pemodelan *Mobile solar tracker*

Beberapa komponen pada sistem *mobile solar tracker* yang dimodelkan secara matematis adalah model LDR, posisi matahari, motor DC dan panel surya. Model tersebut dikembangkan dari hukum-hukum fisika dasar. Parameter-parameter untuk pemodelan diambil dari data teknis maupun dari data perhitungan. Model matematis dari setiap komponen diterapkan pada *simulink* matlab

3.4.1 Pemodelan LDR

Sensor yang digunakan pada sistem *mobile solar tracker* aktif adalah sensor LDR. Posisi sudut *pitch* motor DC berhubungan dengan sudut *altitude* dan nilai intensitas cahaya LDR selatan. Nilai *output* dari sudut *pitch* harus sama dengan sudut elevasi. Nilai *output* didapat dari *input* sudut *altitude* dan intensitas cahaya (*lux*).

Hubungan antara *output* dan *input* LDR dapat ditunjukkan dari persamaan berikut :

$$\text{Log } R = -\frac{3}{4} \text{Log } I + 5 \quad (3.7)$$

Untuk memperoleh nilai intensitas cahaya efektif pada sistem panel surya dapat menggunakan persamaan berikut ini:

$$\sin \alpha = \frac{I_{\text{eff}}}{I} \quad (3.8)$$

$$I_{\text{eff}} = I_{\text{max}} \sin \theta \quad (3.9)$$

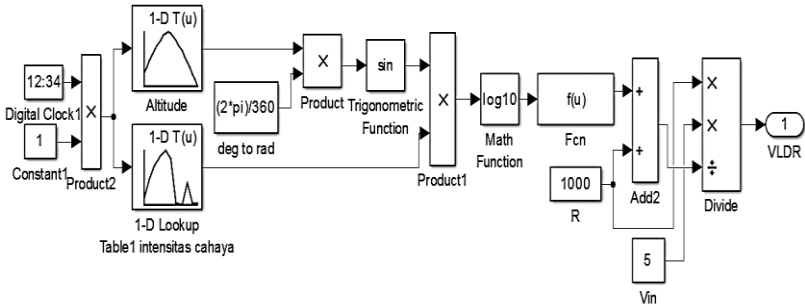
Dimana :

α = Sudut Elevasi

I_{eff} = Kuat Pencahayaan Efektif

I = Kuat Pencahayaan

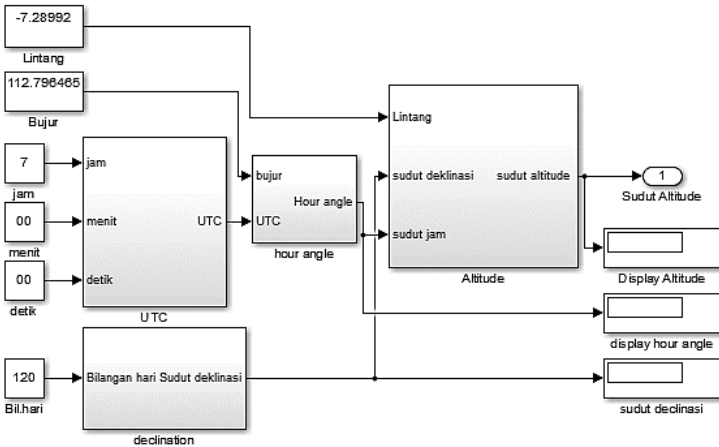
Berdasarkan persamaan 3.7 dan 3.8, sensor LDR pada *active single axis solar tracker* dapat dimodelkan menggunakan MATLAB Simulink sebagai berikut



Gambar 3. 10 Pemodelan LDR Berbasis simulink

3.4.2 Pemodelan Posisi Matahari

Pemodelan posisi matahari didapat dari pemodelan posisi matahari yang dikembangkan oleh J.E Braun dan Sproul. *Input* yang digunakan pada model posisi matahari adalah posisi bujur dan lintang (lokasi pengambilan data), waktu saat pengambilan data perbedaan waktu GMT, dan bilangan hari, sedangkan *output* dari model posisi matahari adalah sudut *altitude* matahari. Pemodelan posisi matahari dilakukan secara matematis pada persamaan 2.20 dan 2.25 dan diterapkan pada *software simulink* sebagai berikut.



Gambar 3. 11 Pemodelan Posisi Matahari berbasis simulink

3.4.3 Pemodelan Motor DC

Pemodelan pada motor DC menggunakan hukum dasar fisika, yang terdiri dari elektrik dan mekanik, secara elektrik model motor DC diturunkan menggunakan Hukum Khirchoff II tentang rotasi. Parameter-parameter motor DC diperoleh dari data primer .

Berdasarkan hukum tegangan Kirchoff II dan hukum Newton II didapatkan fungsi transformasi laplace sebagai berikut :

$$V(s) = R_a \cdot I_a(s) + L_a \cdot I_a(s)S + K_b \cdot \omega(s) \quad (3.10)$$

$$V_a(s) - K_b \cdot \omega(s) = I_a(s)(R_a + L_a S) \quad (3.11)$$

$$I_a = \frac{V_a(s) - K_b \cdot \omega(s)}{(R_a + L_a S)} \quad (3.12)$$

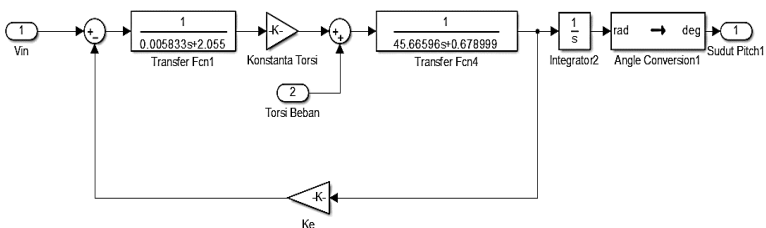
$$I_a = \frac{V_a(s) - K_b \cdot \omega(s)}{(R_a + L_a S)} \quad (3.13)$$

$$K_t \cdot I_a(s) = J_m \cdot \omega(s)S + B_m \cdot \omega(s) \quad (3.14)$$

$$\omega(s) = \frac{K_t \cdot I_a}{J_m \cdot s + B_m} \quad (3.15)$$

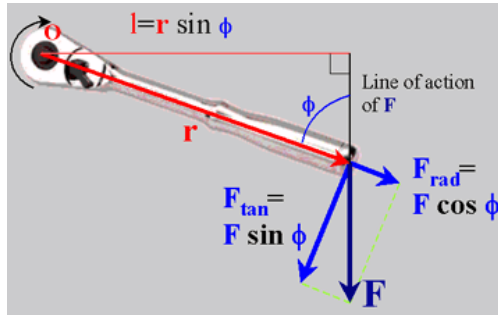
$$\omega(s) = K_t \cdot I_a \frac{1}{J_m \cdot s + B_m} \quad (3.16)$$

Dari model matematis persamaan 3.13 dan 3.16 , dapat diterapkan kedalam model Matlab/*simulink* pada gambar 3.12



Gambar 3. 12 Pemodelan Motor DC berbasis Simulink

Motor DC yang digunakan pada panel surya terdapat torsi load (TL) / torsi beban yang dapat mempengaruhi kecepatan angular motor DC. Sehingga diperlukan perhitungan torsi load pada motor DC. Besarnya torsi *load pitch* dapat dilihat dari persamaan 3.19 sebagai berikut.



Gambar 3. 13 Gerak Pitch Motor DC [24]

Torsi total akan maksimum untuk $\theta = 90^\circ$, sehingga didapatkan torsi total maksimum sebagai berikut. [24]

$$\tau = F \tan \times r \quad (3.17)$$

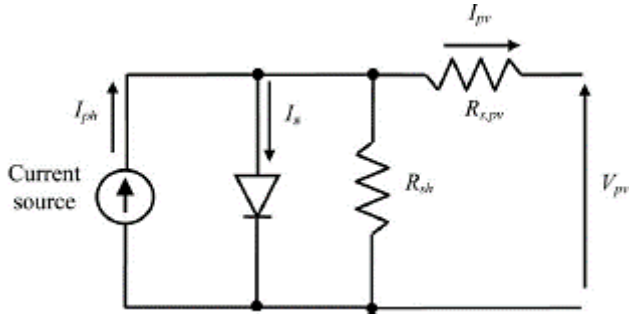
Dimana :

$$\tau = F \sin \theta \quad (3.18)$$

$$\tau = m. g \sin \theta \quad (3.19)$$

3.4.5 Pemodelan Panel surya

Pemodelan panel surya didapat spesifikasi panel surya pada tabel. Hubungan antara input dan *output* panel surya dimodelkan berdasarkan rangkaian ekuivalen *single diode*. Pada rangkaian ini terdiri dari 4 buah komponen yaitu resistor seri, dioda, resistor *shunt* dan sumber cahaya (*photo current*). *Input* dari panel surya berupa besar radiasi matahari dan temperatur sedangkan *output* panel surya berupa nilai tegangan dan arus.



Gambar 3. 14 Rangkaian ekuivalen panel surya [9]

Berdasarkan Hukum Arus Kirchoff, arus dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut:

$$I = I_{ph} - I_d - I_{sh} \quad (3.15)$$

Idealnya $I_{sh} = 0$ karena $R_{sh} \approx \infty$, sehingga persamaan 3.15 dapat ditulis kembali menjadi,

$$I = I_{ph} - I_d = I_{ph} - I_o \left[\exp\left(\frac{V+IR_{pv}}{V_T}\right) - 1 \right] \quad (3.16)$$

I dan V dapat direpresentasikan sebagai fungsi radiasi dan temperatur seperti berikut:

$$I = \left[\mu \left(\frac{s}{s_{ref}} \right) (T - T_{ref}) + \left(\frac{s}{s_{ref}} - 1 \right) I_{sc} \right] + I_{mp} \quad (3.17)$$

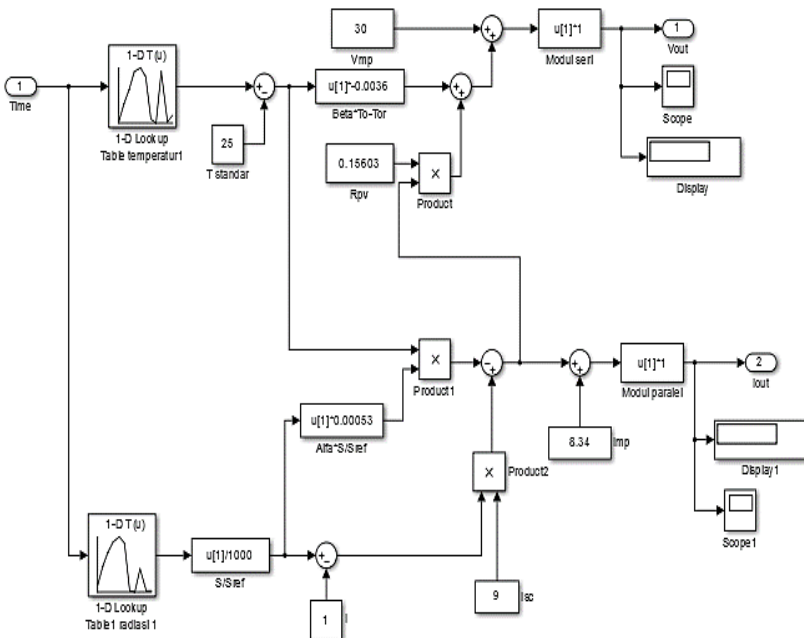
$$V = -\Phi(T - T_{ref}) - R_{pv}(I - I_{mp}) + V_{mp} \quad (3.18)$$

$$\Phi_{ref} = \frac{2V_{mp} - V_{oc}}{\frac{I_{sc}}{I_{sc} - I_{mp}} + \ln\left(1 - \frac{I_{mp}}{I_{sc}}\right)} \quad (3.19)$$

$$R_{pv} = \frac{\Phi_{ref} \ln\left(1 - \frac{I_{mp}}{I_{sc}}\right) + V_{oc} - V_{mp}}{I_{mp}} \quad (3.20)$$

I dan V dapat direpresentasikan sebagai fungsi radiasi dan temperatur seperti pada persamaan 3.17 dan 3.18. Nilai $S_{ref}=1000\text{W/m}^2$, $T_{ref} = 25^\circ\text{C}$, nilai R_{pv} dapat diketahui pada persamaan 3.20, dan nilai dari parameter lainnya yaitu, arus hubung pendek (I_{sc}), arus daya maksimum (I_r), tegangan rangkaian terbuka (V_{oc}), arus rangkaian pendek (I_{sc}), tegangan maksimum (V_{mp}), arus maksimum (I_{mp}) didapatkan dari dapat dilihat pada data spesifikasi panel surya yang telah diberikan pada tabel 3.2

Berdasarkan nilai perhitungan dari persamaan rangkaian ekuivalen dan nilai parameter panel surya yang didapat dari spesifikasi /datasheet panel surya dilakukan pemodelan pada *simulink* sebagai berikut



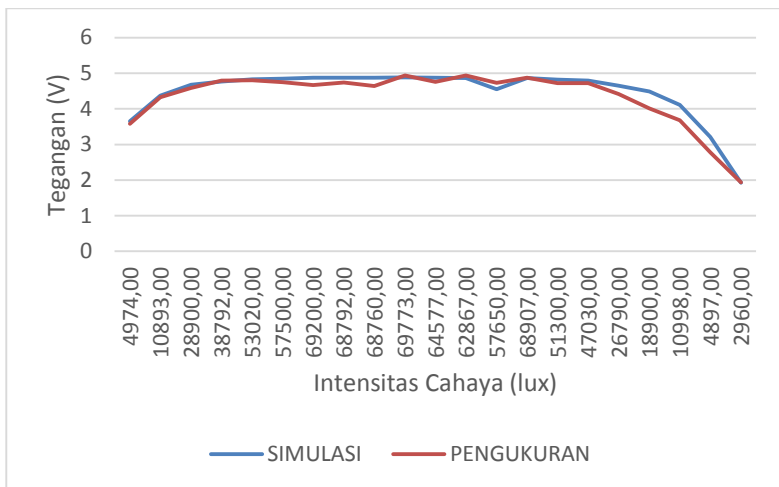
Gambar 3. 15 Pemodelan Panel Surya Berbasis simulink

3.5 Validasi Model

Pada validasi model digunakan sebagai bentuk pembuktian hasil simulasi model yang dibuat sesuai dengan data hasil pengukuran yang telah dilakukan. metode validasi telah dilakukan melalui eksperimen dan *software* (aplikasi). Hasil validasi tiap komponen yang dimodelkan antara lain sebagai berikut :

3.5.1 Validasi Model LDR

Pada validasi model LDR dibandingkan hasil pemodelan yang telah buat terhadap data *primer* (hasil pengukuran). Pengambilan data simulasi dan data hasil pengukuran dengan meinput intensitas cahaya (*lux*) dengan intensitas maksimum sebesar 69773 lux dengan tegangan referensi 5 volt. Hasil validasi model terhadap pengukuran dapat dilihat pada gambar 3.16

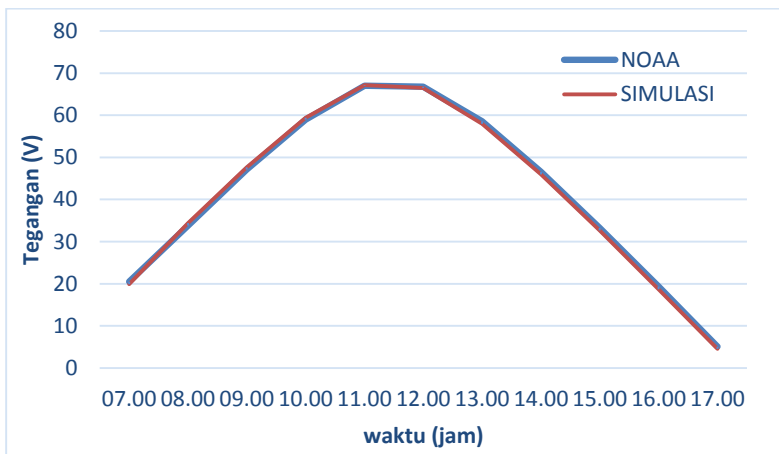


Gambar 3. 16 Hasil validasi model sensor LDR terhadap data primer

Pada hasil validasi model dapat dilihat bahwa hasil simulasi hampir mendekati kondisi pengukuran aktualnya dengan selisih maksimum sebesar 0.159 volt.

3.5.2 Validasi Model Posisi Matahari

Model posisi matahari divalidasi menggunakan *software* aplikasi yang dibuat oleh *National Oceanic and Atmospheric Administration* (NOAA). Data model diperoleh dari data posisi matahari sepanjang jalan teknik fisika ke jembatan Nasional Suramadu yang berupa *altitude* yang dibandingkan dengan hasil *altitude* yang didapat dari *National Ocean and Atmospheric Administration* (NOAA).

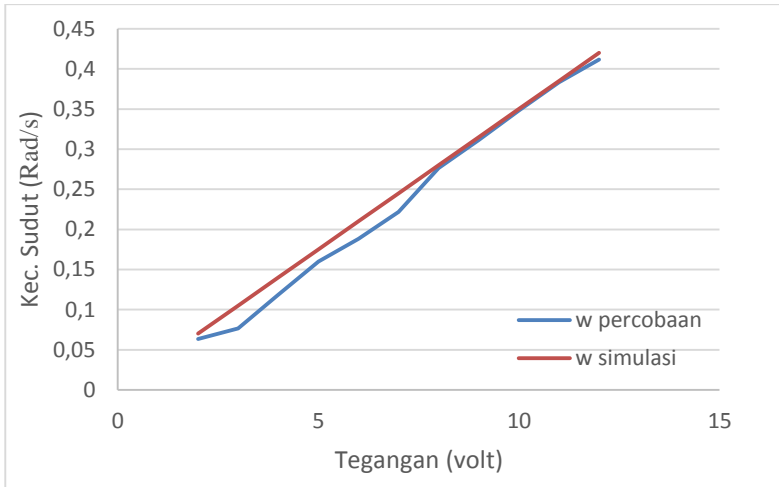


Gambar 3. 17 Hasil validasi sudut altitude terhadap NOAA

Dari gambar 3.17 menunjukkan bahwa model posisi matahari yang dibuat mendekati nilai *altitude* standart dari NOAA. Dari hasil tersebut dapat dikatakan model yang telah dibuat dapat dijadikan *input* pada kontroler pasif.

3.5.3 Validasi Pemodelan Motor DC

Pada validasi motor DC dilakukan dengan memberikan nilai *input* berupa nilai konstan yang berupa tegangan dan output yang berupa rpm. Output dari hasil model akan dibandingkan dengan nilai rpm pada data teknis. Berikut ini adalah grafik hasil validasi motor DC antara hasil model dengan data hasil pengukuran.

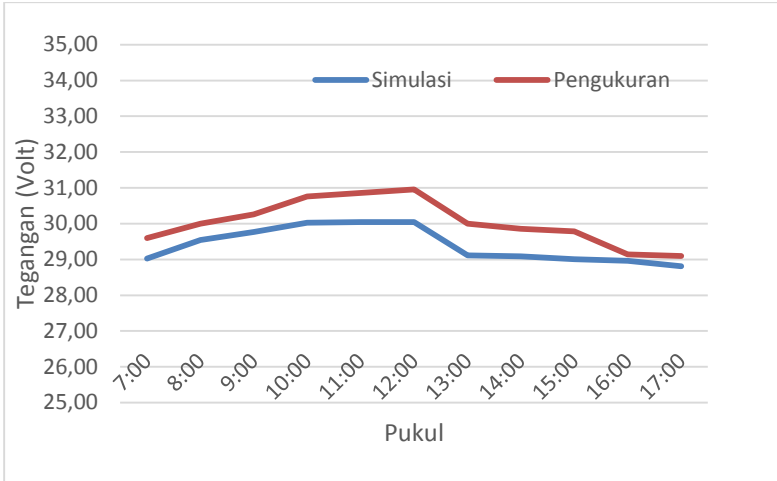


Gambar 3. 18 Hasil validasi model motor DC terhadap data primer

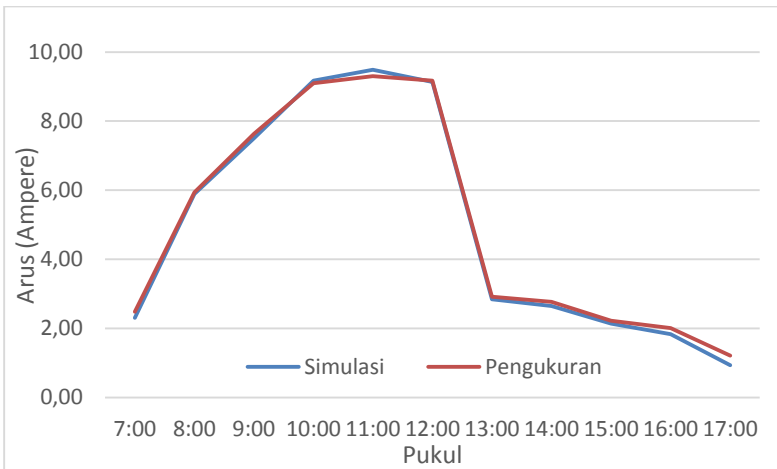
Dari gambar 3.18 tersebut dapat dikatakan hasil validasi model hampir mendekati kondisi pengukuran aktualnya dengan error maksimum sebesar 0,0034 Rad/s.

3.5.4 Validasi Panel Surya

Validasi panel surya dilakukan dengan membandingkan antara hasil simulasi yang dibuat dengan hasil pengukuran yang telah dilakukan. Data yang dibandingkan adalah data *output* simulasi yang berupa tegangan dan arus dengan data *output* panel surya yang berupa tegangan dengan arus yang diambil dari data teknis. Pada gambar 3.19 dan 3.20 merupakan hasil validasi antara model yang dibuat dengan data aktual dari tegangan dan arus pada panel surya dengan pengukuran selama 10 jam.



Gambar 3. 19 Hasil Validasi tegangan panel surya



Gambar 3. 20 Hasil Validasi Arus panel surya

Dari gambar 3.19 dan 3.20 menunjukkan hasil perbandingan data simulasi dan data hasil pengukuran tegangan *output* PV dan grafik arus terhadap *output* PV. Pada gambar 3.20

perbandingan voltage (tegangan) dari model yang dibuat dengan data aktual terdapat *error* yang disebabkan oleh beberapa faktor, yaitu *error* pada saat pengukuran suhu dan radiasi, sedangkan pada kondisi simulasi suhu dan radiasi yang digunakan dalam kondisi ideal, selain beberapa faktor dari PV yaitu gangguan angin yang tidak dimodelkan dalam simulasi PV dan keadaan pada saat pengambilan data tidak menentu.

3.6 Perancangan Sistem Kontrol ANFUC

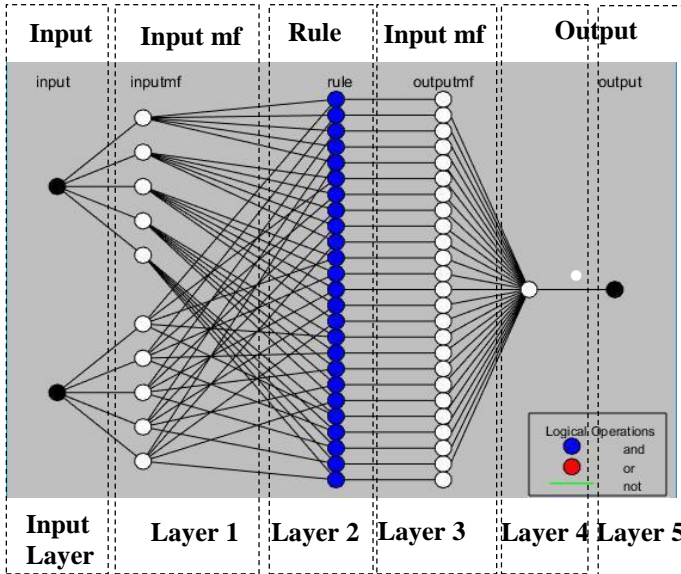
Adaptive Neuro Fuzzy Control (ANFUC) diterapkan sebagai kontrol pada *mobile single axis solar tracker*, pada sistem ini terdiri dari dua sistem yaitu sistem penjejakan aktif yang menggunakan sensor LDR sebagai sensor dan sistem penjejakan pasif yang menggunakan perhitungan astronomi dalam penjejakannya.

Seperti halnya Jaringan Syarat Tiruan, ANFUC perlu diberikan pelatihan terlebih dahulu menggunakan pasangan data *input-output*. Pelatihan perlu dilakukan agar ANFUC mampu mempelajari informasi mengenai sekumpulan data tersebut. Saat proses pelatihan, dilakukan penyesuaian parameter-parameter premis dan konsekuen sehingga ANFUC mampu membentuk model yang sesuai dengan sekumpulan data pelatihan yang diberikan. Pada penelitian ini perancangan ANFUC dilakukan dengan bantuan ANFUC Editor GUI pada perangkat lunak MATLAB.

Struktur ANFUC terdiri dari lima buah lapisan yang memiliki fungsi berbeda-beda. Struktur ANFUC yang dibentuk ditampilkan pada Gambar 3.21. Pada lapisan kedua terdapat sekumpulan fungsi keanggotaan *input* untuk menentukan derajat keanggotaan nilai *input* yang diberikan. Selain itu pada lapisan keempat terdapat sekumpulan fungsi keanggotaan output untuk menentukan derajat pengaktifan (*firing strength*) dari setiap aturan-aturan (*rules*) pada lapisan kedua

Dalam pelatihan ANFUC di buat fungsi keanggotaan *input* yang digunakan, yakni tipe Segitiga (*trimmf*) sebanyak 5 buah

untuk masing-masing input pada metode aktif maupun pasif yang akan dijelaskan pada *sub-bab*.



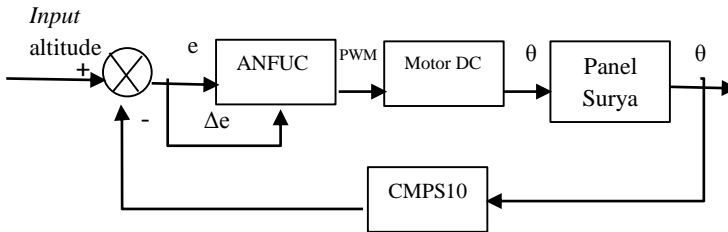
Gambar 3. 21 Struktur ANFUC

Input dari sistem *mobile solar tracker* berupa *error* dan *delta error* pada metode aktif maupun pasif, serta *outputnya* berupa sinyal PWM (*pulse width modulation*) yang nilainya bervariasi memiliki rentang nilai -255 sampai 255. Perancangan sistem kontrol aktif maupun pasif akan dijelaskan pada *sub-bab* berikut.

3.6.1 Perancangan Sistem Kontrol ANFUC pada *mobile solar tracker* pasif

Sistem kontrol yang dikembangkan pada penelitian ini adalah sistem kontrol ANFUC digunakan sebagai kontrol pada pasif *solar tracker*. variabel yang dikontrol adalah sudut *pitch*.

Terdapat beberapa komponen yang digunakan, blok diagram sistem pengendalian *solar tracker* pasif dapat dijelaskan pada gambar 3.22 sebagai berikut



Gambar 3. 22 Diagram Blok pasif *solar tracker*

Input dari pasif *solar tracker* terdiri dari 2 buah yaitu error dan selesih error, yang didefinisikan pada persamaan berikut :

$$e(k) = \alpha_s - \theta_s \quad (3.21)$$

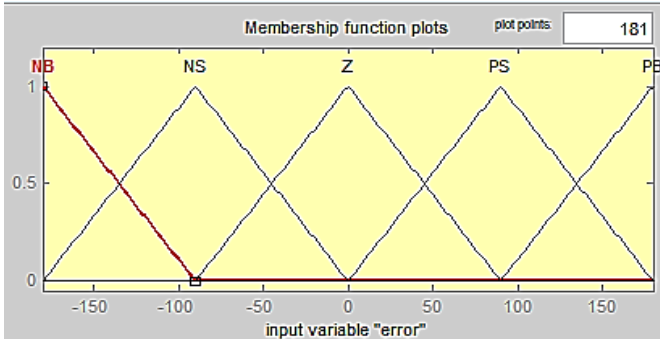
$$\Delta e(k) = e(k) - e(k-1) \quad (3.22)$$

Dimana $e(k)$ adalah error saat ini dan $e(k-1)$ adalah error sebelumnya. Sedangkan outputnya adalah berupa sinyal PWM (*pulse width modulation*) yang nilainya bervariasi memiliki rentang nilai -255 sampai 255. Sinyal ini digunakan untuk mengatur tegangan referensi yang diberikan pada motor DC.

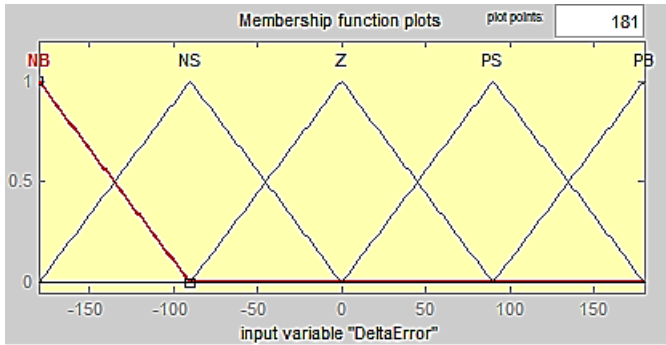
- **Fungsi Keanggotaan Fuzzy**

Pada *fuzzy logic control* digunakan untuk memperoleh data latih yang digunakan pada *adaptive neuro-fuzzy control*. *Input* kontrol *fuzzy* berupa nilai *error* dan *delta-error*, selanjutnya akan dipetakan ke dalam ruang bilangan *fuzzy* melalui proses *fuzzifikasi*. Pada proses ini akan dibentuk fungsi keanggotaan dan jumlah bilangan *fuzzy*. Adapun fungsi keanggotaan *input* yang digunakan adalah segitiga. Terdapat 5 *membership function* diantaranya adalah NB (*Negatif Big*), NS (*Negative Small*), ZE (*Zero*), PS (*Positive Small*)

dan PB (*Positive Big*). *Input fuzzy* berupa *error* dan *delta error*, fungsi keanggotaan *error* dan *delta error* dapat ditunjukkan pada gambar 3.23 dan gambar 3.24.



Gambar 3. 23 Fungsi Keanggotaan fuzzy *error* pada pasif

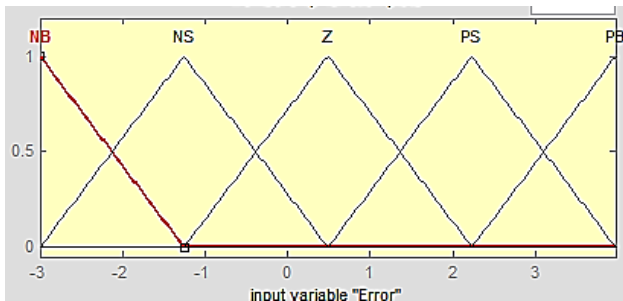


Gambar 3. 24 Fungsi Keanggotaan fuzzy *delta error* pada pasif

- **Modifikasi Fungsi Keanggotaan Fuzzy dengan ANFUC**

Perancangan ANFUC dilakukan dengan memberikan kontrol ANFUC pada sistem penjejak matahari agar motor memiliki kecepatan dan akurasi tinggi, selain itu agar motor tidak terjadi osilasi saat mencapai *setpoint*. Langkah pertama dari aplikasi ANFUC adalah pelatihan data awal didapatkan dari simulasi menggunakan fuzzy. Dalam pelatihan ANFUC di buat fungsi keanggotaan *input* yang digunakan yaitu berbentuk segitiga

(*trimmf*) sebanyak 5 buah untuk masing-masing input. Setelah dilakukan pelatihan, diperoleh bentuk fungsi keanggotaan *input* dengan parameter parameter yang sudah dioptimalkan seperti pada gambar 3.25 untuk *input error* dan gambar 3.26 untuk *delta error* pada fungsi keanggotaan segitiga.



Gambar 3. 25 Fungsi Keanggotaan ANFUC *error* pada pasif

Input error hasil pelatihan terdiri dari 5 buah fungsi keanggotaan dengan parameter sebagai berikut:

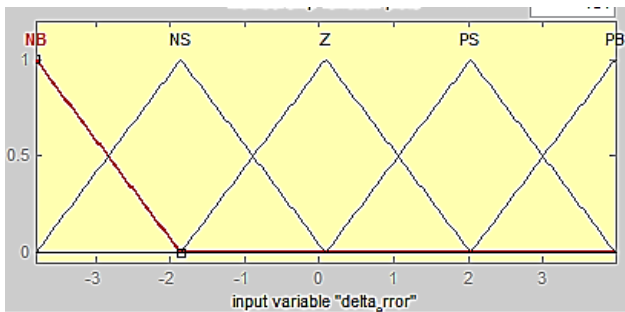
$$\text{NB } [a = -4,752; b = -3,007; c = -1,261]$$

$$\text{NS } [a = -3,007; b = -1,261; c = 0,4842]$$

$$\text{Z } [a = -1,261; b = 0,4842; c = 2,23]$$

$$\text{PS } [a = 0,4842; b = 2,23 ; c = 3,975]$$

$$\text{PB } [a = 2,23; b = 3,975; c = 5,721]$$



Gambar 3. 26 Fungsi Keanggotaan ANFUC *delta error* pada pasif

Input selisih (delta) *error* hasil pelatihan terdiri dari 5 buah fungsi keanggotaan dengan parameter sebagai berikut:

NB [a = -5.755; b = -3.809; c = -1.863]

NS [a = -3.809; b = -1.863; c = 0.0831]

Z [a = -1.863; b = 0.0831; c = 2.029]

PS [a = 0.0831; b = 2.029; c = 3.975]

PB [a = 2.029; b = 3.975; c = 5.921]

- **Rule Base Adaptive Neuro-Fuzzy Control**

Rule base bergantung pada jumlah *membership function* pada variabel *input*, , apabila memiliki dua *input* dan masing-masing memiliki jumlah fungsi keanggotaan yang sama maka jumlah *rule base* dapat ditentukan dengan rumus N^2 (N=jumlah fungsi keanggotaan), Pada kontrol *mobile pasif solar tracker* terdapat 5 *membership function* dengan bentuk segitiga (trimmf) sehingga terdapat 25 *rules*. Pada tabel 3.3 merupakan *rule base* pada pasif

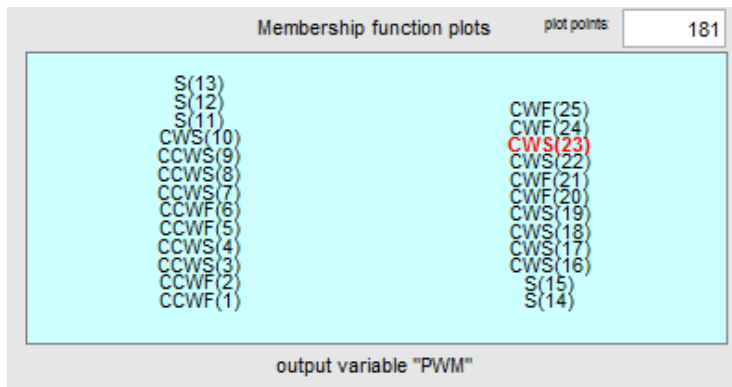
Tabel 3. 3 Rulebase Pasif ANFUC

		e				
		NB	NS	ZE	PS	PB
Δe	NB	CCWF(1)	CCWF(6)	S(11)	CWS(16)	CWF(21)
	NS	CCWF(2)	CCWS(7)	S(12)	CWS(17)	CWS(22)
	ZE	CCWS(3)	CCWS(8)	S(13)	CWS(18)	CWS(23)
	PS	CCWS(4)	CCWS(8)	S(14)	CWS(19)	CWF(24)
	PB	CCWF(5)	CWS(10)	S(15)	CWF(20)	CWF(25)

- **Fungsi Keanggotaan Output ANFUC**

Fungsi keanggotaan *output* ANFUC berupa sinyal PWM dengan rentang [-255 255]. Sinyal PWM ini digunakan untuk merubah tegangan referensi yang disuplay ke motor DC sehingga berdampak pada perubahan kecepatan motor dalam menggerakkan panel surya. Nilai minus pada parameter *output* menunjukkan arah putaran motor DC. Lima kategori himpunan fuzzy *output* dinyatakan dengan CCWF (*Counter Clockwise*

Fast), CCWS (*Counter Clockwise Slow*), S (*Stop*), CWF (*Clockwise Fast*), CWS (*Clockwise Slow*) seperti terlihat pada Gambar 3.27 sebagai berikut



Gambar 3. 27 *Membership function* dari output PWM

Pada gambar 3.27 merupakan *membership function* dari output PWM yang diperoleh setelah pelatihan, dengan parameter konsekuensi sebagai berikut :

CCWF(1)	[0]	S(14)	[0,9136]
CCWF2)	[-5,745]	S(15)	[0,9182]
CCWS(3)	[-5,676]	CWS(16)	[4,215]
CCWS4)	[-5.687]	CWS(17)	[4,208]
CCWS(5)	[0]	CWS(18)	[4,2123]
CCWF6)	[-2,366]	CWS(19)	[4,212]
CCWS(7)	[-2,402]	CWF(20)	[4,212]
CCWS(8)	[-2,383]	CWF(21)	[0]
CCWS(9)	[-2,381]	CWS(22)	[7,516]
CWS(10)	[-2,385]	CWS(23)	[7,504]
S(11)	[0,9117]	CWF(24)	[7,508]
S(12)	[0,9184]	CWF(25)	[0]
S(13)	[0,9155]		

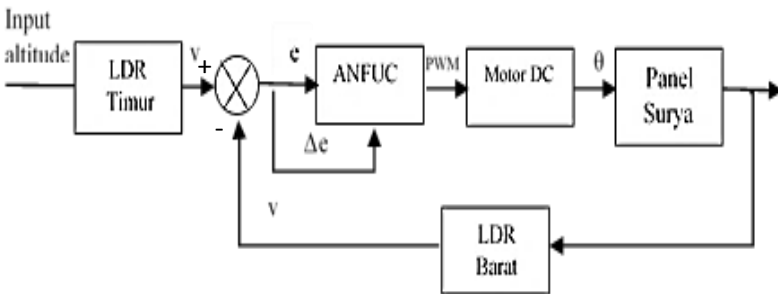
3.6.2 Perancangan Sistem Kontrol ANFUC pada *mobile solar tracker* aktif

Adapun sistem kontrol yang dirancang pada penelitian tugas akhir ini dengan metode aktif yang digunakan untuk mengendalikan panel surya pada arah sudut *pitch*. sistem kontrol yang digunakan berbentuk MISO (multi *input* single output), dengan *inputan* berupa *error* dan *delta error* yang dapat dilihat pada persamaan berikut :

$$e_{pitch}(t) = V_{ldr\text{utara}} - V_{ldr\text{selatan}} \quad (3.23)$$

$$\Delta e_{pitch}(t) = e_{pitch}(t) - e_{pitch}(t - 1) \quad (3.24)$$

Dimana $e(k)$ adalah error saat ini dan $e(k-1)$ adalah error sebelumnya. Blok diagram sistem pengendalian aktif dapat dilihat pada gambar 3.28



Gambar 3. 28 Blok Diagram *Mobile solar tracker* aktif

Pada sistem kontrol aktif ini output dari sistem kontrol ANFUC berupa nilai PWM PWM (*pulse width modulation*) yang nilainya bervariasi memiliki rentang nilai -255 sampai 255. Sinyal ini digunakan untuk mengatur tegangan referensi yang diberikan pada motor DC.

- **Fungsi Keanggotaan Fuzzy**

Pada *fuzzy logic control* digunakan untuk memperoleh data latihan yang digunakan pada *adaptive neuro-fuzzy control*. *Input* kontrol *fuzzy* berupa nilai *error* dan *delta-error*, selanjutnya akan dipetakan ke dalam ruang bilangan *fuzzy* melalui proses *fuzzifikasi*. Pada proses ini akan dibentuk fungsi keanggotaan dan jumlah bilangan *fuzzy*. Adapun fungsi keanggotaan *input* yang digunakan adalah segitiga dan trapesium. Terdapat 5 *membership function* diantaranya adalah NB (*Negatif Big*), NS (*Negative Small*), ZE (*Zero*), PS (*Positive Small*) dan PB (*Positive Big*). Fungsi keanggotaan *fuzzy* dapat dilihat pada gambar 3.29 dan 3.30.

Negative Big (NB),

Jika tegangan LDR Timur jauh lebih kecil dari pada LDR Barat

Negative small (NS),

Jika tegangan LDR Timur lebih kecil dari LDR Barat

Zero (ZE),

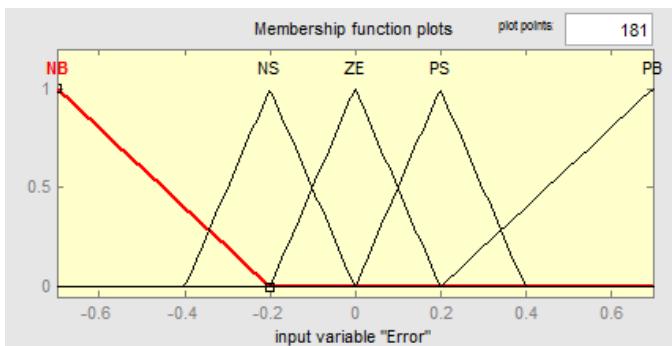
Jika tegangan LDR Timur sama dengan LDR Barat

Positive Small (PS)

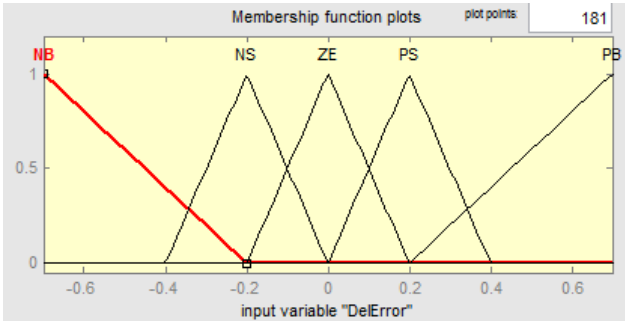
Jika tegangan LDR Timur lebih besar dari LDR Barat

Positive Big (PB),

Jika tegangan Timur jauh lebih besar dari LDR Barat



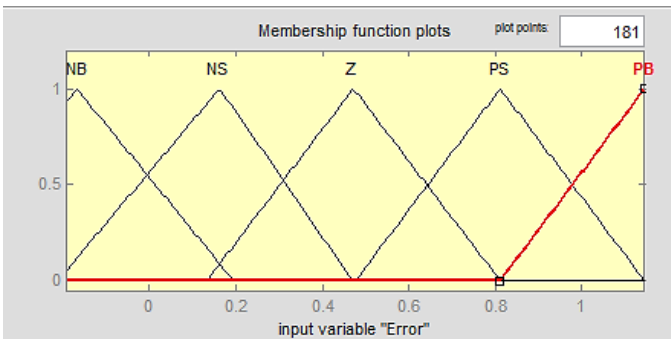
Gambar 3. 29 Fungsi Keanggotaan *error* fuzzy pada *mobile solar tracker* aktif



Gambar 3. 30 Fungsi Keanggotaan delta *error* fuzzy pada *mobile solar tracker* aktif

- **Modifikasi Fungsi Keanggotaan Fuzzy dengan ANFUC**

Data pelatihan ANFUC didapatkan dari simulasi menggunakan fuzzy. Dalam pelatihan ANFUC di buat fungsi keanggotaan *input* yang digunakan, yaitu Segitiga (*trimmf*) sebanyak 5 buah untuk masing-masing input. Setelah dilakukan pelatihan, diperoleh bentuk fungsi keanggotaan *input* dengan parameter parameter yang sudah dioptimalkan. Dari data training didapatkan mangership function yang bagus adalah tipe *trimmf* (segitiga) dengan 5 *membership function*. Pada gambar 3.31 untuk *input error* dan gambar 3.32 untuk delta *error* pada fungsi keanggotaan segitiga (*trimpmf*).



Gambar 3. 31 Fungsi Keanggotaan ANFUC *error* pada aktif

Input error hasil pelatihan terdiri dari 5 buah fungsi keanggotaan dengan parameter sebagai berikut:

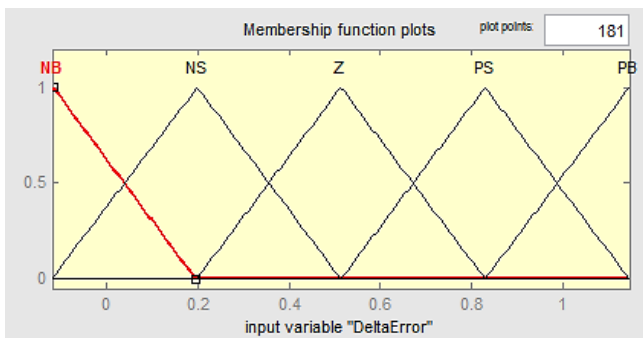
NB [a = -0.5236; b = -0.1678; c = 0.1953]

NS [a = -0.2125 ; b = 0.1626; c = 0.4707]

Z [a = 0.1324; b = 0.4717; c = 0.8111]

PS [a = 0.4759; b = 0.8107; c = 1.145]

PB [a = 0.8104; b = 1.145; c = 1.478]



Gambar 3. 32 Fungsi Keanggotaan ANFUC *deltaerror* pada aktif

Input delta error hasil pelatihan terdiri dari 5 buah fungsi keanggotaan dengan parameter sebagai berikut:

NB [a = -0.4346; b = -0.1167; c = 0.1951]

NS [a = -0.1207; b = 0.1991; c = 0.5129]

Z [a = 0.1971; b = 0.5129; c = 0.8288]

PS [a = 0.5129; b = 0.8288; c = 1.145]

PB [a = 0.8288 ; b = 1.145; c = 1.46]

- **Rule Base Adaptive Neuro-Fuzzy Control**

Rule base bergantung pada jumlah *membership function* pada variabel *input*, , apabila memiliki dua *input* dan masing-masing memiliki jumlah fungsi keanggotaan yang sama maka jumlah *rule base* dapat ditentukan dengan rumus N^2 (N =jumlah fungsi

keanggotaan), Pada kontrol *mobile pasif solar tracker* terdapat 5 *membership function* dengan bentuk segitiga (trimmf) sehingga terdapat 25 rules. Rule base pada *mobile solar tracker* aktif dapat dilihat pada tabel 3.4 berikut

Tabel 3. 4 Rulebase Aktif ANFUC

		e				
		NB	NS	ZE	PS	PB
Δe	NB	CCWF(1)	CCWF(6)	CCWS(11)	CCWS(16)	S(21)
	NS	CCWF(2)	CCWS(7)	CCWS(12)	S(17)	CWS(22)
	ZE	CCWS(3)	CCWS(8)	S(13)	CWS(18)	CWS(23)
	PS	CCWS(4)	S(9)	CWS(14)	CWS(19)	CWF(24)
	PB	S(5)	CWS(10)	CWS(15)	CWF(20)	CWF(25)

Keterangan :

e : *error* tegangan

Δe : selisih *error* (delta *error*)

CCWF : *Counter Clockwise Fast*

CCWS : *Counter Clockwise Slow*

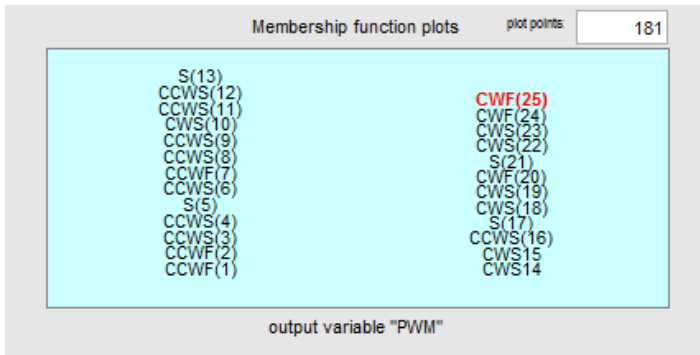
S : Stop

CWS : *Clockwise slow*

CWF : *Clockwise Fast*

- **Fungsi Keanggotaan *Output* ANFUC**

Fungsi keanggotaan *output* ANFUC berupa sinyal PWM dengan rentang [-255 255]. Sinyal PWM ini digunakan untuk merubah tegangan referensi yang disuplay ke motor DC sehingga berdampak pada perubahan kecepatan motor dalam menggerakkan panel surya. Nilai minus pada parameter *output* menunjukkan arah putaran motor DC. Lima kategori himpunan fuzzy *output* dinyatakan dengan CCWF (*Counter Clockwise Fast*), CCWS (*Counter Clockwise Slow*), S (*Stop*), CWF (*Clockwise Fast*), CWS (*Clockwise Slow*) seperti terlihat pada Gambar 3.33



Gambar 3. 33 *Membership function* dari *output PWM*

Pada gambar 3.33 merupakan *membership function* dari *output PWM* yang diperoleh setelah pelatihan, dengan parameter konsekuensi sebagai berikut :

CCWF(1)	[-246,5]	CWS(14)	[0]
CCWF(2)	[-61,2]	CWS(15)	[0]
CCWS(3)	[0]	CCWS(16)	[168,9]
CCWS(4)	[0]	S(17)	[0]
S(5)	[9,51]	CWS(18)	[0]
CCWF(6)	[364,1]	CWS(19)	[0]
CCWS(7)	[0]	CWF(20)	[0]
CCWS(8)	[0]	S(21)	[170,9]
S(9)	[0]	CWS(22)	[168,5]
CWS(10)	[0]	CWS(23)	[0]
CCWS(11)	[175,5]	CWF(24)	[0]
CCWS(12)	[142,8]	CWF(25)	[255]
S(13)	[0]		

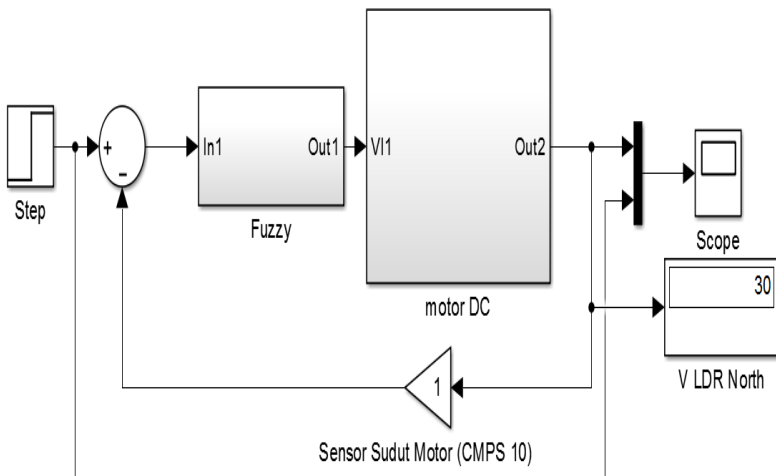
Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

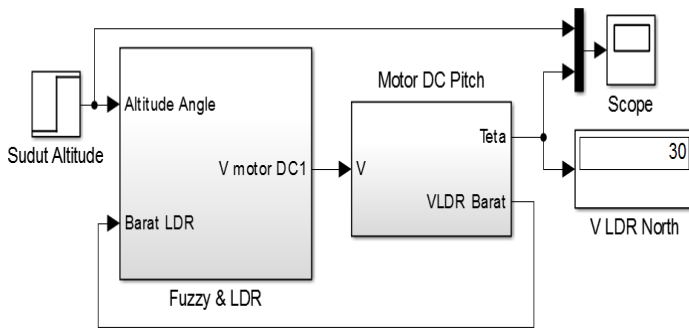
Pada bab ini akan dijelaskan mengenai hasil dari simulasi yang telah dibuat, adapun hasil simulasi dari sistem adalah uji *set point*, uji *tracking set point* serta uji performansi dari pv, pada sistem *mobile single axis solar tracker* baik pasif maupun aktif.

4.1 Uji Set Point

Pada Uji *set point* dilakukan melalui simulasi, terdapat dua 2 metode penjejakan yakni sistem aktif *tracking* maupun pasif *tracking*. Pada uji *set point* bertujuan untuk mengetahui kriteria performansi kontrol yang telah dirancang. Kriteria performansi kontrol yang diperhatikan adalah *rise time* (t_r), *settling time* (t_s), *maximum overshoot* (M_{ov}), serta *error steady state* (e_{ss}). Pada gambar 4.1 menunjukkan simulasi uji *set point* yang diterapkan pada *software* Simulink.



(a)

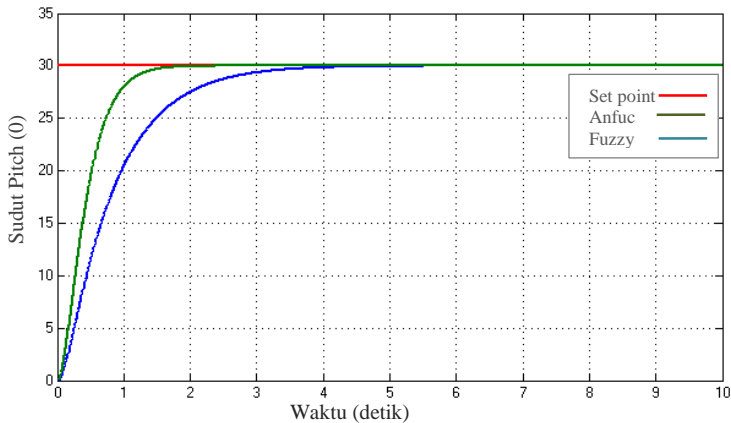


(b)

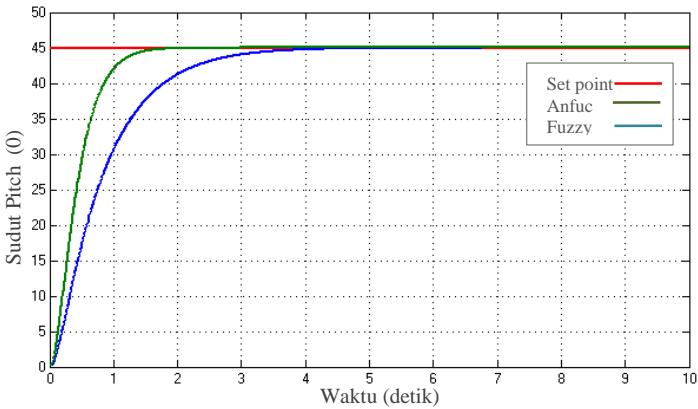
Gambar 4. 1 *Pemodelan Uji Set Point Berbasis Simulink (a) Mobile solar tracker pasif (b) Mobile solar tracker Aktif*

4.1.1 Uji Set Point Pada *Mobile solar tracker* pasif

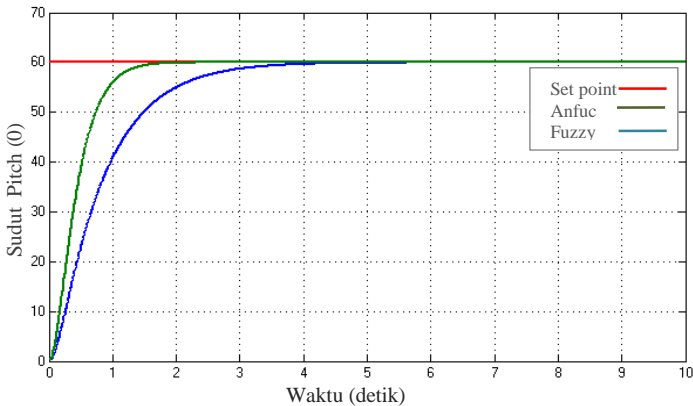
Uji *set point* pada *mobile solar racker* pasif dilakukan dengan memberikan nilai input berupa nilai *step* yang merepresentasikan sudut *altitude* sebesar 30° , 45° dan 60° . Berikut ini merupakan hasil respon sudut *output* motor pitch terhadap nilai *input*.



(a)



(b)



(c)

Gambar 4. 2 Respon Sudut *pitch* Pasif *Solar Tracker* dengan *set point* (a) 30° (b) 45° (c) 60°

Pada gambar 4.2 menunjukkan respon controller ANFUC terhadap *setpoint* sudut *altitude*. pada grafik diatas menunjukkan bahwa respon kontrol menggunakan ANFUC dapat mencapai *set point* dengan *error* yang kecil dibandingkan dengan fuzzy, pada fuzzy memiliki respon yang lebih lama untuk mencapai *set point* dibanding dengan ANFUC. Berdasarkan gambar diatas diketahui

indeks performansi respon kontrol fuzzy dan ANFUC seperti pada tabel 4.1 berikut

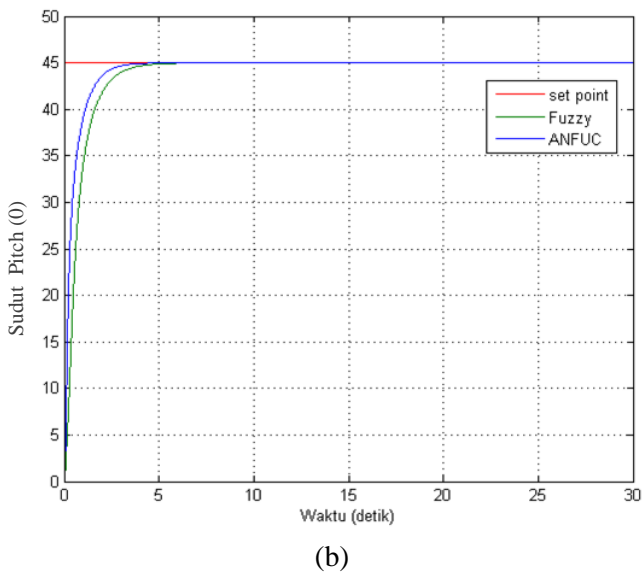
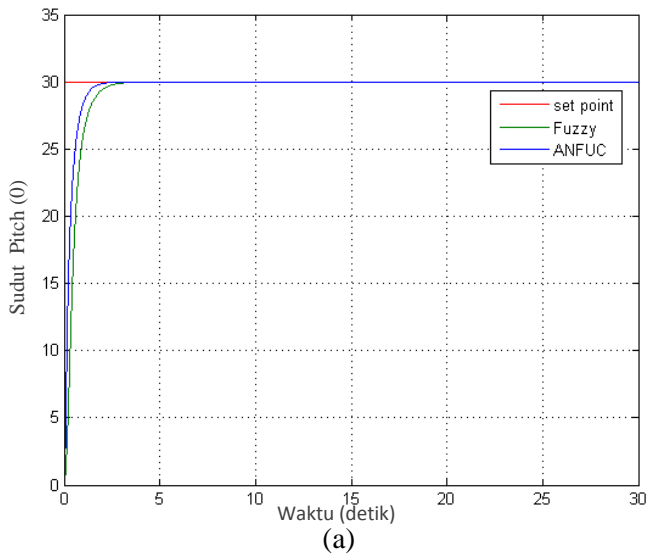
Tabel 4. 1 Indeks Performansi pada sudut pitch pasif *solar tracker*

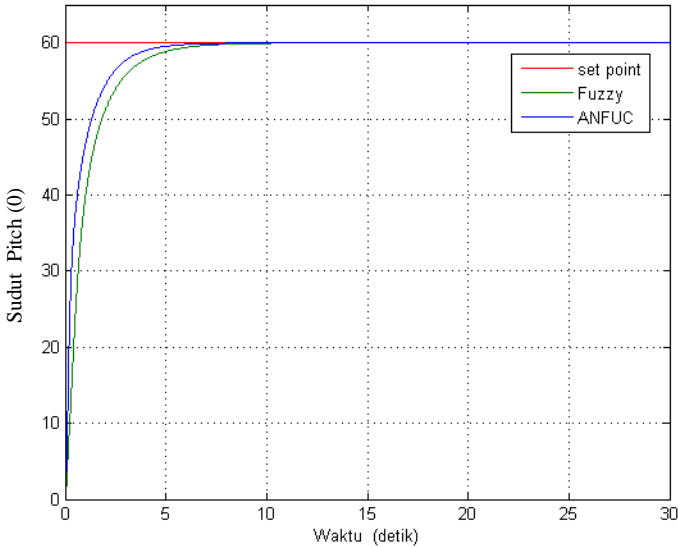
Indeks Performansi	set point					
	30°		45°		60°	
	Fuzzy	ANFUC	Fuzzy	ANFUC	Fuzzy	ANFUC
<i>Rise Time</i> (detik)	2,28	1,68	2,23	1,08	2,39	1,08
<i>% error steady state</i>	0,02	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01
<i>%Maximum overshoot</i>	0	0	0	0	0	0
<i>Settling Time</i> (detik)	5,746	2,79	3,06	1,32	3,06	1,32

Pada tabel 4.1 dapat dilihat bahwa kontrol fuzzy memiliki *rise time* yang lebih lambat dibanding dengan ANFUC, dan lebih lama menuju *steady state*. Error rata-rata yang dihasilkan oleh ANFUC sebesar 1,4%, presentasi tersebut lebih kecil dibandingkan dengan kontrol fuzzy. Pada kontroller fuzzy maupun ANFUC melalui uji *set point* tidak memiliki *overshoot* sehingga pada kontroller yang dirancang tidak memiliki osilasi dalam mencapai *set point*. Dengan demikian ANFUC mampu menghasilkan respon yang cepat dengan *error* yang lebih kecil dibandingkan dengan kontroller fuzzy.

4.1.1 Uji Set Point Pada *Mobile solar tracker* aktif

Uji set point pada aktif *mobile single axis solar racker* dilakukan dengan memberikan nilai input berupa nilai *step* yang merepresentasikan sudut *altitude* sebesar 30°, 45° dan 60°, dalam waktu rentang 30 detik. dari uji *set point* akan diketahui *indeks performansi* dari kontroller yang dirancang. Berikut ini merupakan hasil respon sudut *output* motor *pitch* terhadap nilai input.





(c)

Gambar 4. 3 Respon Sudut *pitch* Solar Tracker Aktif dengan *set point* (a) 30° (b) 45° (c) 60°

Pada gambar 4.3 menunjukkan respon kontroller ANFUC terhadap setpoint sudut *altitude*. Hasil simulasi untuk respon sudut *pitch* dengan set point 30° , Gambar 4.3 (a) pada kontroller ANFUC mampu memberikan respon yang lebih optimal dibandingkan dengan kontroller fuzzy ditinjau dari kecepatan untuk mencapai waktu tunak (*settling time*), dapat dibandingkan pada garis biru (ANFUC) memiliki respon yang lebih cepat dibandingkan dengan garis hijau (Fuzzy), dengan *error steady state* pada ANFUC sebesar 0,014% dan pada fuzzy sebesar 0,019%, selain itu pada kontroller tidak mengalami osilasi dalam mencapai *set point*.

Gambar 4.3 (b) merupakan respon sudut *pitch* dengan *set point* 45° , respon yang diberikan kontroller pada sudut 45° membutuhkan waktu yang lebih lama untuk mencapai waktu tunak (*settling time*) dibandingkan pada sudut 30° , selain itu pada kontroller ANFUC memiliki respon yang lebih optimal dibandingkan dengan Fuzzy, ditinjau dari waktu mencapai *set point* serta keadaan saat mencapai waktu tunak (*settling time*),

kecepatan respon pada ANFUC melebihi controller fuzzy. Selain itu *error steady state* pada ANFUC lebih kecil dibandingkan dengan controller fuzzy.

Hasil simulasi untuk respon sudut *pitch* dengan nilai *set point* sebesar 60^0 , Gambar 4.3 (c) pada controller ANFUC mempunyai *rise time* (*tr*) sebesar 1,8 detik , *overshoot* sebesar 0%, *settling time* sebesar 3 ,8 detik , serta *error steady state* sebesar 0,016 %. Pada kontrol fuzzy ,didapatkan maksimum *overshoot* sebesar 0%, serta *rise time* dan *settling time* yang lebih lama, yakni 2,37 dan 4,91 detik, serta memiliki *error steady state* yang lebih besar dari pada controller ANFUC. Pada *input* sudut 60^0 , kedua controller mampu mencapai *set point* tanpa mengalami osilasi, dan pada fuzzy memiliki respon yang lebih lama dibandingkan dengan ANFUC dalam mencapai titik *steady*

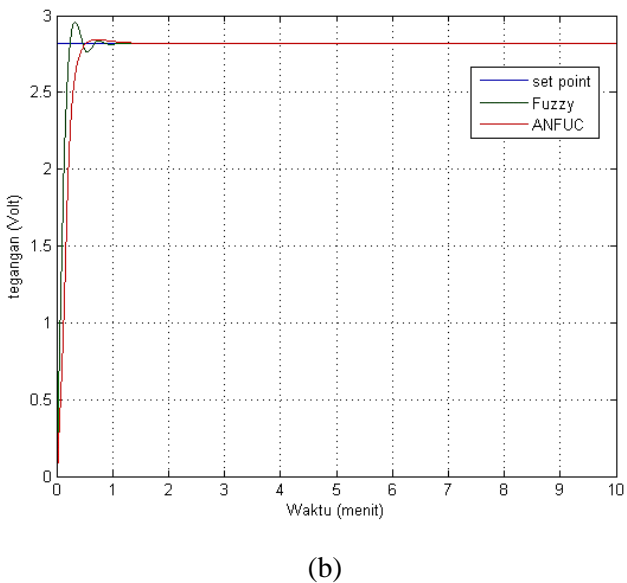
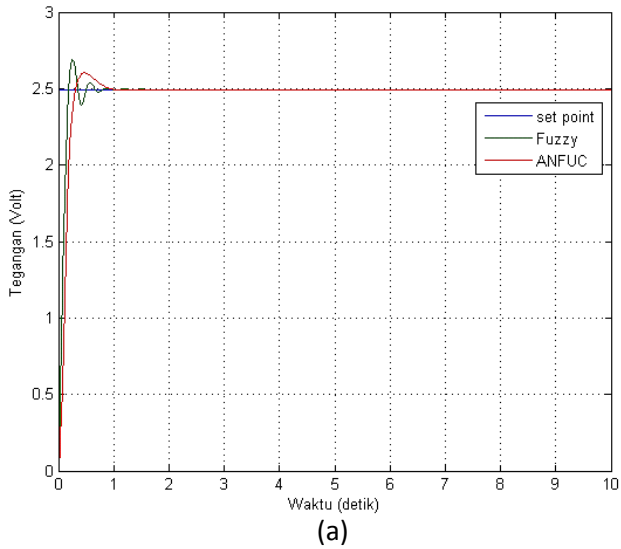
Indeks performansi dari respon sudut *pitch* dapat dilihat pada tabel 4.2 dibawah ini.

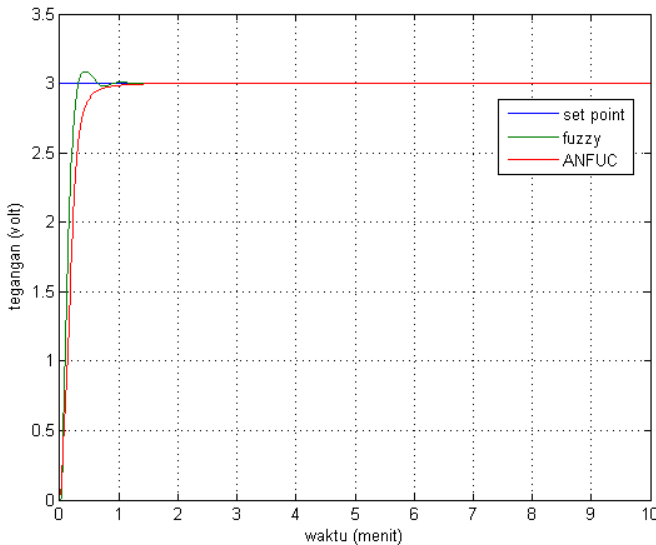
Tabel 4. 2 Indeks performansi pada sudut *pitch mobile solar tracker* aktif

Indeks Performansi	set point					
	30°		45°		60°	
	Fuzzy	ANFUC	Fuzzy	ANFUC	Fuzzy	ANFUC
<i>Rise Time</i> (detik)	0,99	0,7	1,56	1,11	2,37	1,8
% <i>error steady state</i>	0,019	0,018	0,015	0,013	0,019	0,016
% <i>Maximum overshoot</i>	0	0	0	0	0	0
<i>Settling Time</i> (detik)	1,98	1,39	3,13	2,31	4,91	3,8

Pada uji *set point*, terdapat variabel yang perlu diperhatikan, yaitu respon tegangan *output* LDR Barat terhadap tegangan LDR Timur. Terdapat 3 variasi tegangan yang dihasilkan oleh sudut *altitude* , berikut ini merupakan respon tegangan *output*

LDR pada *set point* sudut 30° , 45° dan 60° yang ditunjukkan pada gambar 4.4





(c)

Gambar 4. 4 Respon Tegangan pada Sudut *pitch* (a) 30^0 (b) 45^0 dan (c) 60^0

Gambar 4.4 (a), (b) dan (c) merupakan respon tegangan *output* LDR yang dihasilkan oleh LDR Barat terhadap nilai *set point* LDR utara. Nilai *set point* tegangan *output* LDR yang dihasilkan sudut *altitude* matahari terhadap sudut *pitch* pada sudut 30^0 sebesar 2,494 volt, pada sudut 45^0 sebesar 2,818 volt dan pada sudut 60^0 sebesar 3,002 volt.

Dengan menggunakan kontroler ANFUC dapat disimpulkan bahwa mode kontrol yang digunakan dapat menghasilkan respon yang lebih optimal, untuk uji *setpoint* tegangan LDR memiliki waktu yang lebih cepat dalam mencapai waktu tunak (*steady state*). Meskipun pada kontroler ANFUC memiliki respon lebih lama dalam mencapai *set point*, tetapi pada kontroler ANFUC memiliki *error steady state (ess)* yang lebih kecil dibandingkan dengan dengan fuzzy. Selain itu, pada sudut 60^0 dengan tegangan 3,002 volt tidak memiliki osilasi dalam mencapai *set point* dengan *error* rata-rata yang dihasilkan oleh

kontrol ANFUC sebesar 0,00016% sedangkan pada kontrol *fuzzy* memiliki persentasi *error* rata-rata sebesar 0,0016%. Berikut ini merupakan indeks performansi dari respon tegangan pada sudut pitch.

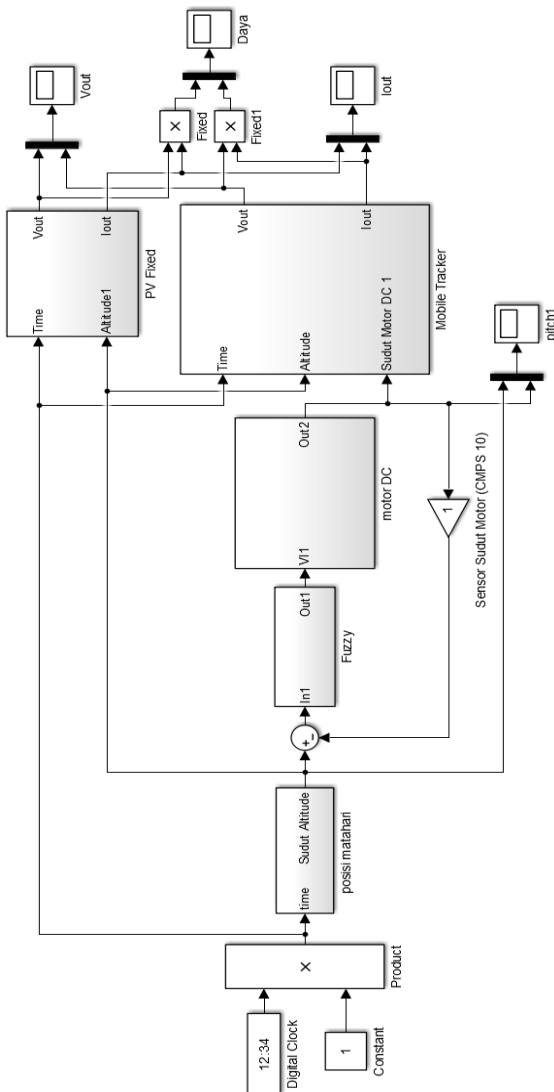
Tabel 4. 3 Perbandingan Indeks Performansi Respon Tegangan

Indeks Performansi	set point					
	30°		45°		60°	
	Fuzzy	ANFUC	Fuzzy	ANFUC	Fuzzy	ANFUC
Rise Time (detik)	0,99	0,7	0,16	0,25	0,18	0,3
% error steady state	0,0018	0,0002	0,0016	0,00016	0,0015	0,00014
%Maximum overshoot	7,88	4,34	4,89	0,89	3,71	0
Settling Time (detik)	0,716	0,47	0,55	0,43	4,91	3,8

4.2 Uji Tracking

Uji *tracking* pada sistem penjejak matahari berfungsi untuk mengetahui respon dari sistem ketika diberikan *set point* yang berubah-ubah. Pengujian *tracking* sudut *altitude* dengan memberikan *input* awal dengan posisi sudut *pitch* PV sebesar 0°, Uji *tracking* dilakukan pada dua metode penjejakan, yakni *mobile solar tracker* pasif dan *mobile solar tracker* aktif. Pada sistem *mobile solar tracker* aktif dilakukan uji *tracking* pada LDR selatan terhadap LDR timur. Pengujian *tracking* dilakukan selama 10 jam (600 menit) dimulai pada pukul 07:00 – 17:00 WIB secara *mobile* dengan rute teknik fisika ke Jembatan Nasional Suramadu, Surabaya. Pada uji *tracking* diberikan *input* berupa sudut *altitude*, dengan sudut awal pada pukul 07:00 WIB sebesar 19,88°. Uji *tracking* dilakukan melalui simulasi menggunakan pemodelan berbasis simulink, pada gambar 4.5 merupakan simulasi uji *tracking mobile solar tracker* aktif, serta pada gambar 4.6

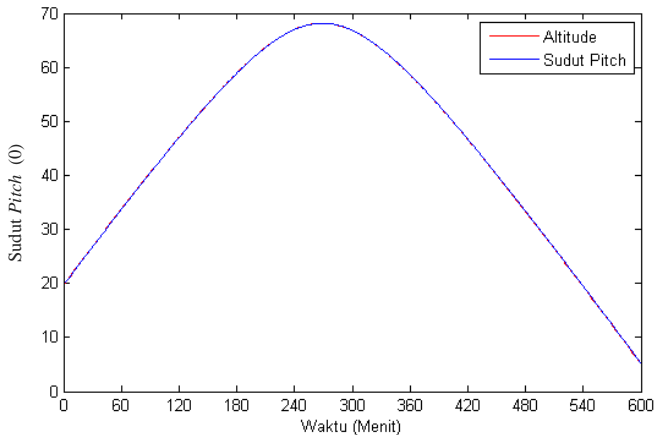
menunjukkan simulasi uji *tracking* pasif *mobile solar* yang diterapkan pada *software simulink*.



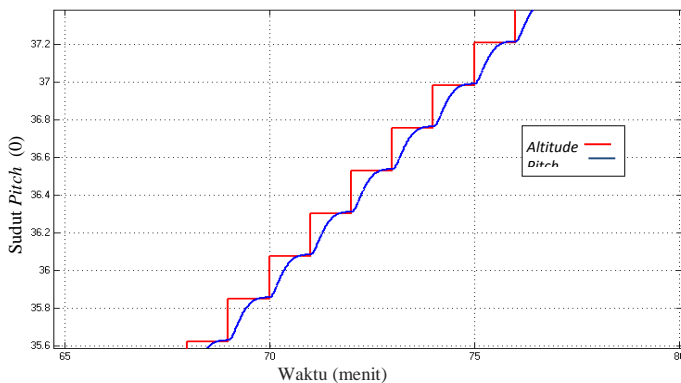
Gambar 4. 5 Pemodelan *mobile Solar Tracker* pasif berbasis *simulink*

4.2.1 Uji *Tracking Mobile solar tracker pasif*

Pada uji *tracking mobile solar tracker pasif* dilakukan pengujian dengan set point yang berubah-ubah. *Set point* yang diberikan adalah sudut *altitude* pada tanggal 30 April 2019. Sudut *altitude* akan berubah-ubah sesuai dengan waktu dan lokasi. Hasil respon uji *tracking* sudut *altitude* dapat dilihat pada gambar 4.7



Gambar 4. 7 Hasil *Tracking Sudut Altitude Mobile solar tracker pasif*

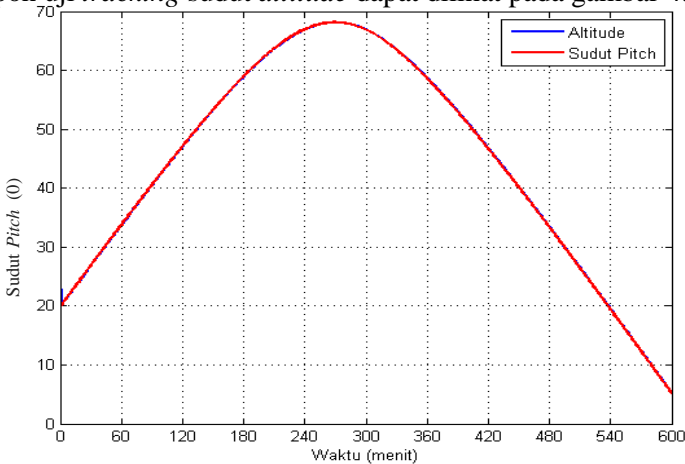


Gambar 4. 8 Hasil *Tracking Sudut Altitude diperbesar*

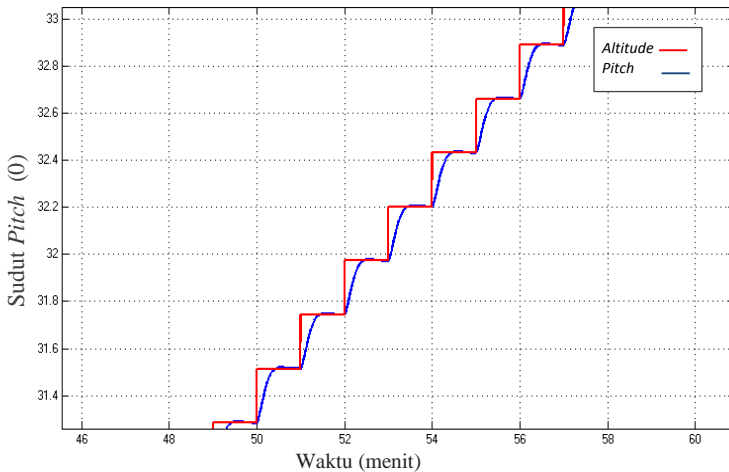
Gambar 4.7 Menunjukkan hasil *tracking* sudut *altitude*, pengujian sudut *altitude* dilakukan dengan memberikan *input* awal sebesar $19,88^{\circ}$ pada $t = 0$ menit pada pukul 07.00 WIB. Pada gambar 4.8 Sudut *altitude* ditandai dengan garis merah sedangkan sudut *pitch* garis warna biru. Sudut *altitude* memiliki 2 *slope* yakni *slope* positif dan *slope* negatif. *Slope* positif terbentuk dari $t = 0$ menit hingga hingga $t = 269$ menit dengan sudut peak sebesar $67,13^{\circ}$, kemudian membentuk sudut negatif hingga $t = 600$ menit. Pada gambar tersebut dapat dilihat bahwa sudut *pitch* PV dapat mengikuti perubahan sudut *altitude* matahari dengan baik. Dari hasil uji *tracking* sudut *altitude* pada *mobile solar tracker* pasif, dapat dikatakan bahwa kontroller ANFUC dapat diterapkan dan menghasilkan respon yang baik sehingga dapat diterapkan pada sistem ini.

4.2.2 Uji Tracking Mobile solar tracker aktif

Pada uji *tracking mobile solar tracker* aktif dilakukan pengujian dengan set point yang berubah-ubah. Set point yang diberikan adalah sudut *altitude* pada tanggal 30 April 2019. Sudut *altitude* akan berubah-ubah sesuai dengan waktu dan lokasi. Hasil respon uji *tracking* sudut *altitude* dapat dilihat pada gambar 4.9

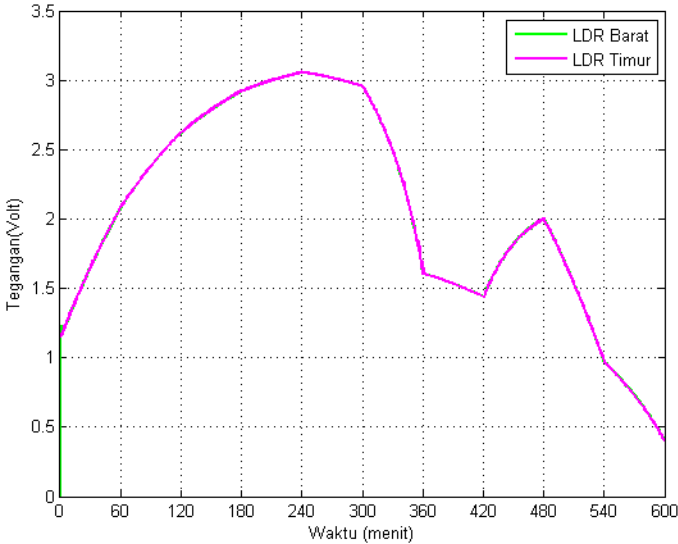


Gambar 4. 9 Hasil Tracking Sudut Altitude Aktiff Mobile solar tracker



Gambar 4. 10 Hasil *Tracking* Sudut *Altitude* diperbesar

Gambar 4.9 Menunjukkan hasil *tracking* sudut *altitude*, sama dengan *mobile solar tracker* pasif, pengujian sudut *altitude* dilakukan dengan memberikan *input* awal sebesar $19,88^{\circ}$ pada $t = 0$ menit pada pukul 07.00 WIB. Pada gambar 4.10 Sudut *altitude* ditandai dengan garis merah sedangkan sudut *pitch* garis warna biru. Sudut *altitude* memiliki 2 *slope* yakni *slope* positif dan *slope* negatif. *Slope* positif terbentuk dari $t=0$ menit hingga $t = 269$ menit dengan sudut *peak* sebesar $67,13^{\circ}$, kemudian membentuk sudut negatif hingga $t = 600$ menit. Pada gambar tersebut dapat dilihat bahwa sudut *pitch* PV dapat mengikuti perubahan sudut *altitude* matahari dengan baik. Selanjutnya dilakukan analisa respon tegangan *output* LDR Barat untuk *tracking* sudut *altitude*. Hasil respon tegangan *output* LDR yang dihasilkan selama pengujian dapat dilihat pada gambar 4.11. Pada gambar tersebut LDR selatan dapat mengikuti perubahan dari LDR Timur, nilai tegangan ini akan selalu berubah seiring dengan perubahan sudut *altitude* matahari. Pada pengujian ini, *input* awal sudut *pitch* sebesar $19,88^{\circ}$ yang terjadi pada $t=0$ menit pada pukul 07:00 WIB, besar tegangan yang dihasilkan pada sudut *altitude* $19,88^{\circ}$ sebesar 1,23 volt. Nilai tegangan akan berubah mengikuti besar intensitas yang diterima oleh sensor LDR.



Gambar 4. 11 Respon Tegangan LDR untuk *Tracking Sudut Altitude*

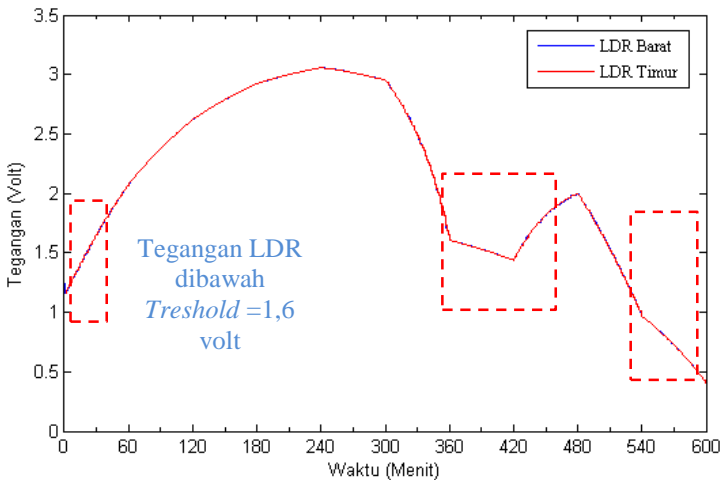
Dari hasil uji *tracking* sudut *altitude* pada sistem *mobile solar tracker* aktif, dapat dikatakan bahwa kontroller ANFUC yang dirancang dan diaplikasikan dapat diterapkan dan menghasilkan memiliki respon yang baik dan mampu bekerja sesuai dengan harapan sehingga dapat diterapkan pada sistem ini.

4.3 *Combined Mobile solar tracker*

Pada tahap ini, dilakukan kombinasi dua metode *solar tracker* yaitu metode aktif dan pasif. Pada metode aktif menggunakan sensor LDR sebagai sensor, pada metode pasif menggunakan sensor CMPS10, pada *combine mobile solar tracker* menggunakan *Adaptive Neuro Fuzzy Control (ANFUC)* sebagai sistem kontrolnya. Kedua sistem ini akan bekerja secara bergantian (*switching*) sesuai dengan kondisi cuaca dan besar intensitas cahaya yang diterima oleh LDR, harapannya agar daya yang dihasilkan oleh *solar tracker* lebih optimal, Berikut ini merupakan uji simulasi sistem *combined* aktif-pasif *mobile single axis solar tracker* berbasis simulink.

4.3.1 Hasil Uji *Tracking Altitude Matahari*

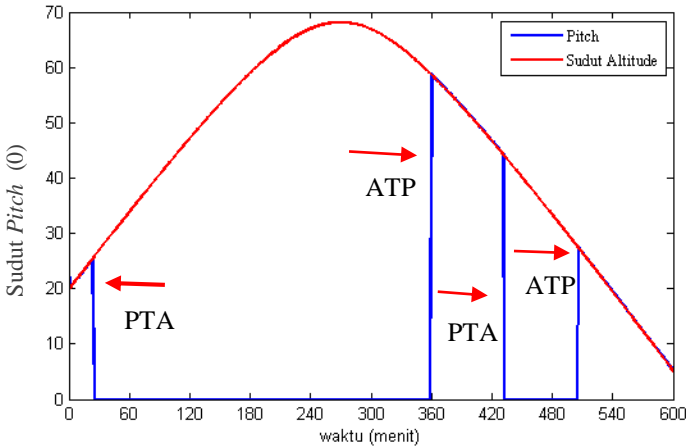
Pada uji *trakcking altitude matahari combined mobile solar tracker*, *set point* yang diberikan berupa tegangan LDR. Mekanisme gabungan antara kedua metode tersebut menjadikan LDR Timur sebagai tegangan acuan. Apabila tegangan LDR acuan (LDR Timur) diatas nilai ambang batas yang ditetapkan, yaitu sebesar $v_{threshold} = 1,60$ volt maka mode aktif akan bekerja, begitu pula sebaliknya, tegangan ambang batas ditetapkan saat matahari tertutup awan secara penuh. Gambar 4.13 Menunjukkan respon output tegangan LDR selama periode 10 jam atau 600 menit.



Gambar 4. 13 Respon Tegangan output LDR pada Uji *Tracking Altitude*

Berdasarkan hasil simulasi, kondisi berawan terjadi sebanyak 4 kali, sehingga terjadi 4 kali switching , yaitu pasive to active (PTA) pada $t = 25$ menit, active to pasive (ATP) pada $t = 360$ menit , passive to active (PTA) pada $t = 432$ menit, dan active to passive (ATP) pada $t = 506$ menit. Pada saat $t = 25$ menit passive *tracker* bekerja karena intensitas cahaya yang diterima LDR dibawah ambang batas, sebenarnya pada saat $t = 25$ menit , kondisi tersebut terjadi pada pagi hari saat matahari mulai terbit, begitu juga

pada saat matahari mulai terbenam pada $t = 506$ menit, pada $t = 360$ menit kondisi matahari tertutup awan secara penuh, selama interval waktu 360 - 432 menit, dan kembali cerah pada saat $t = 432$ menit, pada saat ini terjadi *switching* Passive To Active (PTA).



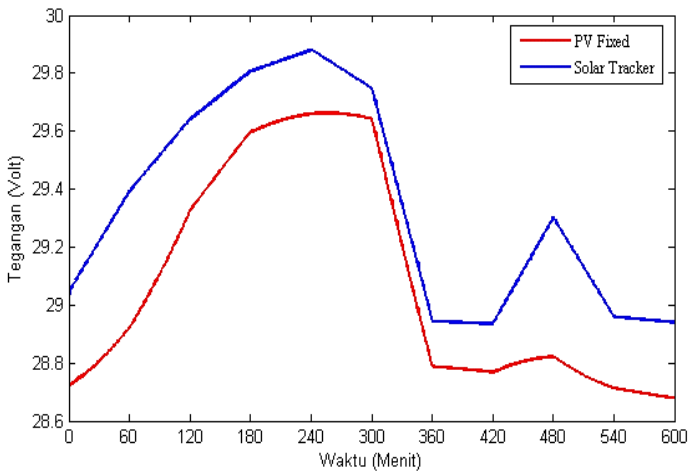
Gambar 4. 14 Respon Output Sudut *Pitch* Pada Uji *Tracking Altitude*

4.4 Uji Performansi PV

Uji performansi bertujuan untuk mengetahui peningkatan performansi pada PV panel dengan *solar tracker*, yang dilakukan melalui pengukuran tegangan, arus serta daya dari output PV panel. Pada tahap ini dihitung peningkatan nilai efisiensi energi yang dihasilkan dari sistem *mobile solar tracker* aktif maupun pasif. Pengambilan data dilakukan selama 10 jam dalam rentang waktu pengujian dari pukul 07.00 WIB hingga 17.00 WIB

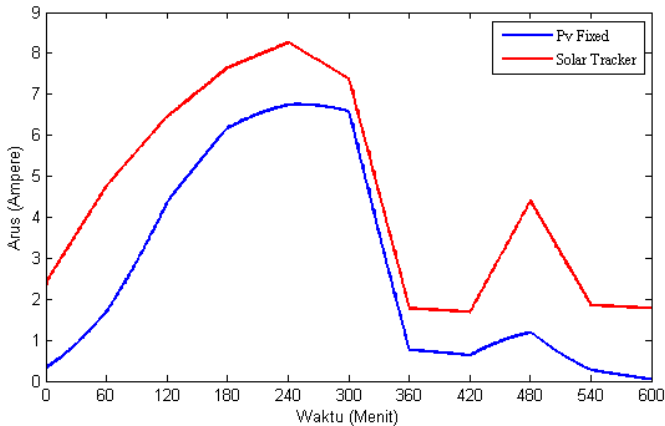
Pada uji performansi data yang digunakan pada PV panel berupa data primer berupa sudut *altitude*, temperatur, serta radiasi. Pada gambar 4.15 menunjukkan profil tegangan output PV panel dengan *solar tracker* selama 10 jam operasi. Pada *mobile solar tracker* memiliki tegangan maksimum (*solar noon*) sebesar 29,88 volt, arus maksimum sebesar 8,26 A. Sedangkan pada pv panel memiliki tegangan dan arus maksimum berturut-turut sebesar 29,66 volt dan 6,74 A. Profil tegangan, arus dan daya yang

dihasilkan oleh *mobile solar tracker* maupun pv mengalami naik turun sesuai dengan perubahan radiasi dan temperatur yang diterima oleh pv. Tegangan maksimum terjadi pada $t = 240$ menit tepat pada saat *solar noon* dengan posisi *altitude* $67,13^{\circ}$. Pada interval $t = 300$ menit hingga $t = 359$ menit penyimpanan tegangan pada *solar tracker* turun sebesar 0,789 volt, sedangkan pada pv sebesar 0,841 volt, hal ini dikarenakan pada saat $t = 359$ menit, matahari terhalang oleh awan penuh sehingga tegangan dan arus yang diterima pv menurun, dan mengalami kenaikan pada interval 431 s/d 480 menit sebesar 0,298 volt dan kembali turun pada sore hari pada $t = 480$ s/d 600 menit.



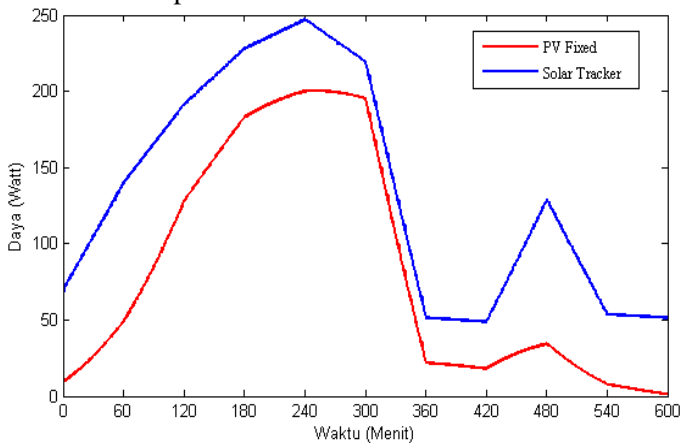
Gambar 4. 15 Respon Tegangan *Ouput Mobile solar tracker* dan *Pv Fixed*.

Pada gambar 4.16 Menyajikan profil arus yang dihasilkan oleh *pv fixed* dan *mobile solar tracker*. Rata-rata penyimpanan arus pada *pv fixed* sebesar 2,84 A, sedangkan pada *solar tracker* sebesar 4,62 A. Pada grafik dapat diketahui penurunan arus terjadi pada $t = 359$ dan 540 menit, yang mana pada saat kondisi tersebut sedang berawan sehingga temperatur dan radiasi yang diterima oleh PV rendah.



Gambar 4.16 Respon Arus Ouput *Mobile solar tracker* dan *Pv Fixed*.

Nilai maksimum tegangan, arus dan daya baik pada PV fixed maupun *solar tracker* diperoleh pada pukul 11.00 WIB yaitu saat *noon time*. Dari grafik dapat dilihat bahwa pada saat *noon time* selisih nilai tegangan, arus dan daya kecil, hal tersebut karena posisi kedua PV (*fixed* PV dan *mobile solar tracker*) sama yaitu tegak lurus terhadap matahari.



Gambar 4.17 Respon Daya Ouput *Mobile solar tracker* dan *Pv Fixed*.

Pada gambar 4. 17 Capaian daya hasil simulasi pada pv fixed dan *solar tracker*. Pada grafik tersebut menunjukkan kurva daya output *solar tacker* lebih besar dibandingkan dengan PV *fixed*. Daya maksimum yang dihasilkan oleh *solar tracker* sebesar 246,93 watt terjadi pada $t = 240$ menit, dan PV *fixed* sebesar 200,04 watt. Dari daya *output* dapat dihitung efiseinsi energi yang dihasilkan oleh pv *fixed* maupun *solar tracker*. Perhitungan efisiensi pada pv *fixed* maupun *solar tracker* diambil pada jam 07.00 WIB hingga 17.00 WIB dengan nilai daya maksimum berdasarkan spesifikasi panel surya sebesar 250 watt.

Adapaun besar energi yang dihasilkan oleh PV *fixed* sebesar 846,45 Wh, dan besar energi yang dihasilkan oleh *mobile solar tracker* sebesar 1430,95 Wh. Sehingga untuk mengetahui besar peningkatan *efisiensi gross* energi *gain* dapat diketahui menggunakan persamaan 4.1 sebagai berikut.

$$\eta_{PV} = \frac{W_{pv\ tracker} - W_{pv\ fixed}}{W_{pv\ fixed}} \times 100\% \quad (4.1)$$

dimana W = energi listrik yang dihasilkan.

Sehingga dari persamaan 4.1 dapat diketahui peningkatan *efisiensi gross* energi *gain* sebesar 69,05%. Adapun besar konsumsi energi tiap masing-masing komponen utama, komponen utama yang dimaksudkan adalah komponen elektrik meliputi motor *pitch* , kontroller serta sensor sebesar 22,15 Wh. Untuk mengetahui besar energi yang dapat diteruskan/ disimpan dalam baterai setelah digunakan untuk *supply* energi pada masing-masing komponen atau nilai *netto* energi *gain* dapat diketahui dengan persamaan 4.2 sebagai berikut.

$$W_{net\ PV\ tracker} = \frac{(W_{PV\ tracker} - (W_{komponen\ utama})) \times W_{pv\ fixed}}{W_{pv\ fixed}} \times 100\% \quad (4.2)$$

Dengan persamaan 4.2 dapat diketahui besar *netto* energi *gain* sebesar 66,43%. Sehingga pada penelitian ini dapat dikatakan

sistem *combined* pasif-aktif *mobile single axis solar tracker* dapat meningkatkan *efisiensi* dan lebih optimal dibandingkan dengan penelitian sebelumnya seperti Imam A et. Al (2015)[4], I. Abadi [7] masing-masing memiliki *efisiensi* 52% dan 48,56% dengan metode aktif maupun pasif.

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan penelitian dan analisa Tugas Akhir yang telah dilakukan, maka didapatkan beberapa kesimpulan sebagai berikut:

- a. Pada perancangan Mobile Single Axis Solar Tracer (MSAST) Berbasis *Adaptive Neuro Fuzzy Control* (ANFUC) terdapat dua metode, yakni pasif dan aktif. Pada *mobile solar tracker* pasif memiliki indeks peformansi dengan nilai *rise time* sebesar 1,68 detik, *settling time* sebesar 2,79 detik, *maximum overshoot* sebesar 0% dan *error steady state* sebesar 0,02 % pada 30°. Pada sudut 45° memiliki nilai *rise time* sebesar 1,08 detik, *settling time* sebesar 1,32 detik, *maximum overshoot* sebesar 0% dan *error steady state* sebesar 0,01 %. Pada sumbu 60 ° nilai *rise time* sebesar 1,08 detik, *settling time* sebesar 1,32 detik, *maximum overshoot* sebesar 0 % dan *error steady state* sebesar 0,01 %. Pada *mobile solar tracker* aktif memiliki indeks peformansi dengan nilai *rise time* sebesar 0,70 detik, *settling time* sebesar 1,39 detik, *maximum overshoot* sebesar 0% dan *error steady state* sebesar 0,014 % pada 30°. Pada sudut 45° memiliki nilai *rise time* sebesar 1,11 detik, *settling time* sebesar 2,13 detik, *maximum overshoot* sebesar 0% dan *error steady state* sebesar 0,013 % . Pada sumbu 60 ° nilai *rise time* sebesar 1,8 detik, *settling time* sebesar 3,8 detik, *maximum overshoot* sebesar 0 % dan *error steady state* sebesar 0,016 %
- b. Peningkatan efesiensi daya menggunakan ANFUC yang telah dirancanag mampu meningkatkan efisiensi dengan *gross energi gain* sebesar 69,05%, sedangkan *netto energi gain* sebesar 66,43% selama 10 jam.

5.2 Saran

Adapun saran yang diberikan untuk penyempurnaan penelitian selanjutnya adalah mengembangkan pemodelan panel

surya dengan menambahkan gangguan internal ataupun eksternal agar simulasi menyerupai *real plant* sehingga *output* simulasi yang dihasilkan lebih mendekati nilai aktual sehingga hasil yang diperoleh lebih optimal.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] P. Huturuk, "Pembuatan Sistem Monitoring Optimasi Energi Cahaya Matahari Menggunakan Sensor Arus pada Antarmuka Personal Computer," 2017.
- [2] E. Babatunde, "Solar Radiation, a Friendly Renewable Energi Source," Nigeria, Ota, Ogun : Covenant Univercity, 1995.
- [3] M. S. Y. B. D. M. Karica, "Determining Optimum tilt angle and orientations of photovoltaic panels in Sanliurfa, Turkey," *Renewable Energi*, vol. 29, no. 2, pp. 1265-1275, 2004.
- [4] I. Abadi, "Type-2 Fuzzy Logic Controller Based PV Passive Two-Axis Solar Tracking System," surabay : Teknik Fisika, 2015.
- [5] K. A.P, "Perancangan Sistem Pengendalian Sudut Pitch dan Yaw Pada Panel Surya Menggunakan Metode PSO-fUZZY," Surabaya : Teknik Fisika , 2015.
- [6] M. Clifford, " Design of a novel passive solar tracker.UK : University Park,," UK : University Park, Nottingham NG7 2RD, 2004.
- [7] I. Abadi, " Design of Single Axis Solar Tracking System At Photovoltaic Panel Using Fuzzy Logic Controller.," Surabaya : Teknik Fisika ITS., 2015.
- [8] M. & Hendro, "Perancangan dan Pembuatan Prototype Sistem Tracker Sel Surya untuk Mengikuti Arah Gerak Matahari," *Prosiding Simposium Nasional Inovasi dan Pembelajaran Sains*, vol. 2, 2015.
- [9] S. Titri, C. Larbes, K. Y. Toumi dan K. Benatchba, "A new MPPT controller based on the Ant colony optimization algorithm for Photovoltaic systems under partial shading conditions," *Aplied Soft Computing*, vol. 58, pp. 465-479, 2017.

- [10] R. D. N. A. d. H. Trisha Gustiya, "Sensor Cahaya LDR (Light Dependent Resistor) Berbasis Mikrokontroler Atmega 328 Sebagai Alat Pendeteksi Kekeruhan Air," no. prosiding Seminar Kontribusi Fisika, 2015.
- [11] M. Bates, "Interfacing PIC Microcontroller Embedded Design by Interactive Simulation," 2ND Edition, Elsevier, Ltd., 2010.
- [12] H. Santoso, "Rancang Bangun Solar Tracking System Menggunakan Kontrol PID Pada Sumbu Azimuth," 2012.
- [13] N. Brilianti, "Implementasi Kontrol Fuzzy Pada Sistem Penjejak Matahari Aktif Dua Derajat Kebebasan Untuk Meningkatkan Penerimaan Energi Matahari Photovoltaic," 2015.
- [14] M. a. A. S. Fallahi, "Robust Control of DC Motor Using Fuzzy Sliding Mode Control with PID Compensator," Vol. %1 dari %2 IIEECS 2009, March 18-20, 2009. Hongkong, 2009.
- [15] A. Z. a. R. Bansal, "Handbook of Renewable Energy," Singapore : Word Scientific Publishing Co. Pte, Ltd, 2011.
- [16] H. A. A. M. Moradi, "Annual Performance Comparison Between Tracking and Fixed Photovoltaic Arrays," Vol. %1 dari %2 IIEE, 3179-3183, 2016.
- [17] R. Banerjee, *Solar Tracking System* , vol. 5, no. 3 March I ISSN 2250-3153, pp. International Journal of Scientific and Research Publishing, , 2015.
- [18] P. M. Kurnia, *Penelusuran Daya Maksimum Pada Panel Photovoltaic Menggunakan Kontrol Logika Fuzzy Di Kota Surabaya*, Surabaya, 2013.
- [19] U. & A. M. A., "Design and Performance of Solar Tracking System with Fuzzy Logic Controller," International Advanced Technologies Symposium (LATS'11), 2011.
- [20] M. R. Lubis, "Analisis Jaringan Saraf Tiruan Back Propagation Untuk Peningkatan Akurasi Prediksi Hasil

PertandinganSepakbola,”no.
<https://doi.org/10.29103/techsi.v10i1.560>, 2018.

- [21] J. Siang, “Aplikasi Jaringan Syaraf Tiruan dan Pemrograman Menggunakan MATLAB.,” Yogyakarta, 20014.
- [22] JR. ANFIS Adaptive network based fuzzy inference system, IEE Trans Syst Man Cyber, 1993 :23(3) :665-85.
- [23] A. A. A. e. Al., “Implementation of Fuzzy and Adaptive Neuro-Fuzzy Inference Systems in Optimization of ProductionInventory Problem”,” no. International Journal, pp. NO 1, 289-298 , 2017.
- [24] n.d, Understand Motor DC.

Halaman ini sengaja dikosongkan

LAMPIRAN A
DATA MOBILE SINGLE AXIS SOLAR TRACKER (MSAST)

A. Data Pengambilan Nilai Tegangan dan Resistansi Sensor LDR

Pukul	Intensitas Cahaya (lux)	Tegangan (volt)		Resistansi (ohm)	
		1	2	1	2
7:00	4974	3,598	3,56	262,37	229,32
7:30	10893	4,367	4,28	246,9	238,75
8:00	28900	4,578	4,59	189,62	157,24
8:30	38792	4,674	4,92	167,89	163,9
9:00	53020	4,736	4,86	111,97	107,98
9:30	57500	4,765	4,72	99,08	96,09
10:00	69200	4,675	4,65	98,6	84,72
10:30	68792	4,787	4,68	88,78	83,8
11:00	68760	4,677	4,6	78,57	71,89
11:30	69773	4,89	4,98	55,65	60,99
12:00	64577	4,675	4,83	56,7	58,63
12:30	62867	4,897	4,97	59,71	60,32
13:00	57650	4,675	4,78	66,09	62,03
13:30	68907	4,897	4,85	61,78	62,97
14:00	51300	4,467	4,35	58,98	65,97
14:30	47030	4,325	4,38	89,2	90,78
15:00	26790	4,165	4,09	79,4	82,94
15:30	18900	3,909	3,82	65,2	67,9
16:00	10998	2,989	3,25	140,89	138,78
16:30	4897	2,657	2,89	140,32	139,65
17:00	2960	1,987	1,87	155,76	178,76

B. Data Posisi Matahari

PUKUL	LINTANG	BUJUR	<i>ALTITUDE</i>	Ket
07.00	-7,28992	112,796465	20,54	T. Fisika
08.00	-7,28992	112,796465	33,81	T. Fisika
09.00	-7,286565	112,793785	47,11	Per. Dharmahusada
10.00	-7,286565	112,793785	58,96	Per. Dharmahusada
11.00	-7,272613	112,78075	67	kalijudan
12.00	-7,272613	112,78075	66,82	kalijudan
13.00	-7,257522	112,803757	58,56	Kenjeran
14.00	-7,257522	112,803757	46,61	kenjeran
15.00	-7,254474	112,800101	33,27	dukuh sutorejo
16.00	-7,254474	112,800101	19,33	dukuh sutorejo
17.00	-7,243991	112,798299	5,083	suramdu

C. Data Parameter Motor DC

Tegangan	Rad/s	Ke	Kt	Jm	Bm
2	0,063	31,578	31,578	270	4,986
3	0,076	39,13	39,13	220,408	5,103
4	0,118	33,802	33,802	194,595	2,856
5	0,16	31,25	31,25	556,701	1,953
6	0,188	31,858	31,858	138,462	1,691
7	0,221	31,578	31,578	137,956	1,424
8	0,276	28,915	28,915	257,143	1,045
9	0,311	28,877	28,877	257,143	0,926
10	0,348	28,708	28,708	100,935	0,824
11	0,383	28,695	28,695	514,286	0,748
12	0,411	29,149	29,149	45,666	0,708

D. Data Radiasi dan Temperatur PV

Tabel C.1 Data Radiasi dan Temperatur *Fixed PV*

Pukul	Radiasi (W/m ²)	Temperatur (°C)
07.00	116.3	32.4
08.00	344.4	36.7
09.00	666.8	40
10.00	806.5	43.4
11.00	819	50.4
12.00	800.2	48.3
13.00	102.82	33.3
14.00	100.48	32.9
15.00	246.4	42.4
16.00	100.18	32.7
17.00	87	32.5

Tabel C.2 Data Radiasi dan Temperatur *Mobile solar tracker*

Pukul	Radiasi (W/m ²)	Temperatur (°C)
07.00	270.4	32.8
08.00	532.1	38.7
09.00	720.8	43
10.00	854.5	48.6
11.00	923.2	55
12.00	823.1	53.1
13.00	200.76	33.8
14.00	190.65	32.5
15.00	492.5	48.5
16.00	209.18	33
17.00	200.9	35.06

E. Data Validasi

Tabel E.1 Data Validasi Sensor LDR

Pukul	V Pengukuran (Volt)	V Simulasi (volt)
7:00	3,579	3,653
7:30	4,328	4,373
8:00	4,584	4,678
8:30	4,797	4,765
9:00	4,8005	4,827
9:30	4,7455	4,847
10:00	4,6645	4,873
10:30	4,738	4,876
11:00	4,6385	4,878
11:30	4,9385	4,88
12:00	4,7535	4,872
12:30	4,9335	4,867
13:00	4,7275	4,553
13:30	4,8765	4,864
14:00	4,7195	4,82
14:30	4,7215	4,791
15:00	4,412	4,65
15:30	4,0095	4,484
16:00	3,6765	4,112
16:30	2,777	3,209
17:00	1,9315	1,924

Tabel E.2 Data Validasi Posisi Matahari

PUKUL	<i>ALTITUDE</i> (derajat)	
	NOAA	Simulasi
07.00	20,54	19,88
08.00	33,81	34,43
09.00	47,11	47,67
10.00	58,96	59,39
11.00	67	67,13
12.00	66,82	66,51
13.00	58,56	58,01
14.00	46,61	45,99
15.00	33,27	32,63
16.00	19,33	18,7
17.00	5,083	4,58

Tabel E.3 Data Validasi Motor DC

Voltage	ω (Rad/s) Percobaan	ω (Rad/s) Simulasi
2	0,063	0,070
3	0,076	0,105
4	0,118	0,140
5	0,16	0,175
6	0,188	0,210
7	0,221	0,245
8	0,276	0,280
9	0,3116	0,315
10	0,348	0,350
11	0,383	0,385
12	0,411	0,42

Tabel E.4 Validasi Panel Surya

Waktu	Tegangan (Volt)	
	Simulasi	Pengukuran
7:00	29,02	29,60
8:00	29,54	30,00
9:00	29,77	30,26
10:00	30,03	30,76
11:00	30,04	30,86
12:00	30,04	30,96
13:00	29,11	30,00
14:00	29,08	29,86
15:00	29,00	29,78
16:00	28,96	29,14
17:00	28,81	29,10

Waktu	Arus (Ampere)	
	Simulasi	Pengukuran
7:00	2,30	2,48
8:00	5,89	5,94
9:00	7,50	7,63
10:00	9,17	9,10
11:00	9,49	9,31
12:00	9,14	9,18
13:00	2,84	2,91
14:00	2,65	2,77
15:00	2,14	2,22
16:00	1,83	2,01
17:00	0,93	1,21

F. Data Performansi *Output PV*

Tabel F.1 Data Tegangan *Output Fixed Pv dan Mobile solar tracker*

Pukul	V PV <i>Fixed</i> (Volt)	V <i>Mobile solar tracker</i> (Volt)
07.00	28,722	29,022
08.00	28,811	29,218
09.00	29,116	29,518
10.00	29,464	29,725
11.00	29,634	29,844
12.00	29,657	29,812
13.00	29,2	29,339
14.00	28,778	28,939
15.00	28,802	29,12
16.00	28,759	29,127
17.00	28,694	28,949

Tabel F.2 Data Arus *Output Fixed Pv dan Mobile solar tracker*

Pukul	I PV <i>Fixed</i> (Ampere)	I <i>Mobile Solar Tracker</i> (Ampere)
07.00	0,326	2,258
08.00	0,942	3,576
09.00	2,983	5,617
10.00	5,293	7,06
11.00	6,505	7,962
12.00	6,701	7,807
13.00	3,575	4,525

Lanjutan Tabel F. 2 Data Arus Output Fixed Pv dan Mobile Solar Tracker

14.00	0,696	1,729
15.00	0,956	3,064
16.00	0,676	3,103
17.00	0,148	1,814

Tabel F.3 Data Daya Output Fixed Pv dan Mobile Solar Tracker

Pukul	P PV Fixed (Watt)	P Mobile Solar Tracker (Watt)
07.00	9,363	65,531
08.00	27,139	104,483
09.00	86,853	165,802
10.00	155,953	209,858
11.00	192,769	237,617
12.00	198,732	232,742
13.00	104,39	132,758
14.00	20,029	50,035
15.00	27,534	89,223
16.00	19,441	90,381
17.00	4,2467	52,513

LAMPIRAN B

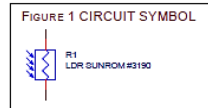
KARAKTERISTIK SENSOR LDR

Electrical Characteristics

Parameter	Conditions	Min	Typ	Max	Unit
Cell resistance	1000 LUX	-	400	-	Ohm
	10 LUX	-	9	-	K Ohm
Dark Resistance	-	-	1	-	M Ohm
Dark Capacitance	-	-	3.5	-	pF
Rise Time	1000 LUX	-	2.8	-	ms
	10 LUX	-	18	-	ms
Fall Time	1000 LUX	-	48	-	ms
	10 LUX	-	120	-	ms
Voltage AC/DC Peak	-	-	-	320	V max
Current	-	-	-	75	mA max
Power Dissipation	-	-	-	100	mW max
Operating Temperature	-	-60	-	+75	Deg. C

Guide to source illuminations

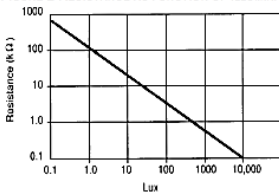
Light source Illumination	LUX
Moonlight	0.1
60W Bulb at 1m	50
1W MES Bulb at 0.1m	100
Fluorescent Lighting	500
Bright Sunlight	30,000



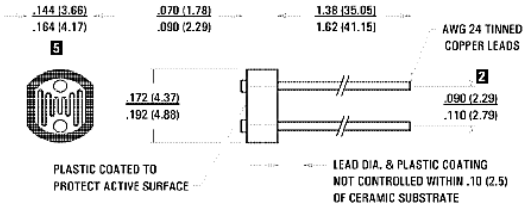
Sensitivity

The sensitivity of a photodetector is the relationship between the light falling on the device and the resulting output signal. In the case of a photocell, one is dealing with the relationship between the incident light and the corresponding resistance of the cell.

FIGURE 2 RESISTANCE AS FUNCTION OF ILLUMINATION



Dimensions



BIODATA PENULIS



Nama Penulis yaitu Zulfa Anis Labiba. Penulis lahir di Banyuwangi, 12 November 1996. Pada tahun 2008 penulis menyelesaikan pendidikan Sekolah Dasar di MIN Songgon, Pada tahun 2011 menyelesaikan pendidikan Sekolah Menengah Pertama di SMP Unggulan Bustanul Makmur Genteng, pada tahun 2014 menyelesaikan pendidikan Sekolah Menengah Atas di SMA Negeri 1 Giri Banyuwangi. Pada tahun 2017 penulis menyelesaikan Pendidikan di D3 Teknik Instrumentasi ITS ditahun yang sama, penulis terdaftar sebagai mahasiswa di Departemen Teknik Fisika Institut Teknologi Sepuluh Nopember.

Konsentrasi tugas akhir yang dialami adalah bidang rekayasa instrumentasi dan kontrol. Pada bulan Juli 2019 penulis telah menyelesaikan Tugas Akhir dengan judul **Perancangan Mobile Single Axis Solar Tracker (MSAST) Berbasis Adaptive Neuro Fuzzy Control (ANFUC)** .

Bagi pembaca yang memiliki kritik, saran atau ingin berdiskusi lebih lanjut mengenai tugas akhir ini, anda dapat menghubungi melalui email: zulfa.labiba@gmail.com.